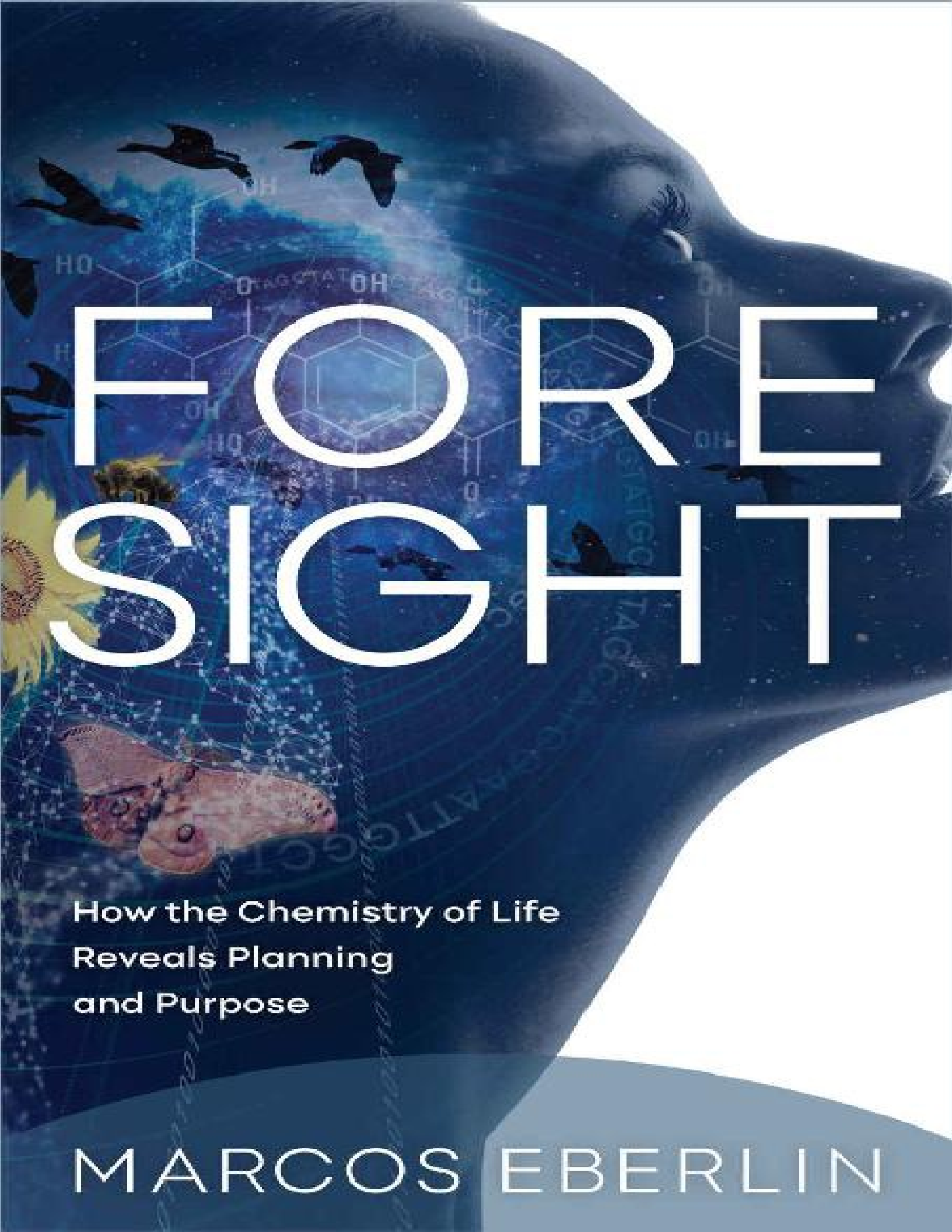
FORE
SIGHT
How the Chemistry of Life
Reveals Planning
and Purpose
MARCOS EBERLIN

PREVISIÓN

Traducido con Google (SSP)

PREVISIÓN

CÓMO LA QUÍMICA DE LA VIDA REVELA PLANIFICACIÓN Y PROPÓSITO

MARCOS EBERLIN

SEATTLE DISCOVERY INSTITUTE PRESS 2019

Descripción

Aprende sobre saltar insectos con engranajes reales, y la ingeniosa tecnología detrás de un camarón de perforación eléctrica. Entra en el extraño mundo de las plantas carnívoras. Y echa un vistazo a una máquina microscópica de proteínas en el ojo de un pájaro que puede funcionar como un dispositivo GPS aprovechando el entrelazamiento cuántico. Únase al renombrado científico brasileño Marcos Eberlin mientras descubre una miríada de soluciones ingeniosas para los principales desafíos de ingeniería en química y biología, soluciones que apuntan más allá de la evolución ciega al funcionamiento de un atributo único para las mentes: la previsión.

Aviso de copyright

Copyright © 2019 por Marcos Eberlin, Todos los derechos reservados.

Biblioteca de datos de catalogación

Prospectiva: cómo la química de la vida revela la planificación y el propósito por Marcos Eberlin

172 páginas, 6 x 9 x 0.37 pulgadas y 0.53 lb, 229 x 152 x 9.3 mm. & 0.240 kg

Número de control de la Biblioteca del Congreso: 2019937734

ISBN-13 978-1-936599-65-3 (edición en rústica), 978-1-936599-66-0 (Kindle), 978-1-936599-67-7 (EPUB)

BISAC: SCI007000 SCIENCE / Ciencias de la vida / Bioquímica

BISAC: SCI008000 SCIENCE / Ciencias de la vida / Biología

BISAC: SCI027000 CIENCIA / Ciencias de la vida / Evolución

BISAC: SCI015000 CIENCIA / Cosmología

BISAC: SCI075000 CIENCIA / Filosofía y Aspectos Sociales

Información del editor

Discovery Institute Press, 208 Columbia Street, Seattle, WA 98104

Internet: http://www.discoveryinstitutepress.com/

Publicado en los Estados Unidos de América en papel libre de ácido.

Primera Edición, Primera Impresión, Mayo 2019.

ELOGIOS

Estoy feliz de recomendar esto a aquellos interesados en la química de la vida. El autor está bien establecido en el campo de la química y presenta el interés actual en la biología en el contexto de la química. Estoy feliz de recomendar el trabajo.

—Sir John B. Gurdon, PhD, Premio Nobel de
Fisiología o Medicina (2012), Cofundador del
Instituto Gurdon, Universidad de Cambridge

Un interesante estudio del papel que desempeña la previsión en la biología.

—Brian David Josephson, PhD, Premio Nobel de Física (1973),
Profesor Emérito de Física, Universidad de Cambridge

Es un placer recomendar el libro *Foresight*.por el Dr. Marcos Eberlin como material excelente e instructivo. Este libro proporciona información magistral sobre la teleología, un campo científico interesante y prominente que proporciona evidencia irrefutable de previsión en la naturaleza. Los argumentos planteados en el libro están respaldados de manera convincente por datos experimentales incontestables y publicados anteriormente, muchos de ellos recopilados de prestigiosas revistas científicas. El Dr. Marcos Eberlin hace uso brillante de su experiencia, lograda en más de veinticinco años aplicando la espectrometría de masas en áreas variadas como bioquímica, biología y química fundamental para delinear un caso convincente que cautivará incluso a los lectores más escépticos. El libro de Eberlin demuestra que el conocimiento científico actualmente disponible apunta cada vez más a la existencia de un ser supremo que planificó cuidadosamente el universo y la vida. Este avance revolucionará la ciencia en los próximos años.

—Rodinei Augusti, PhD, Profesor Titular de Química,
Universidad Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil

A pesar del inmenso aumento del conocimiento durante los últimos siglos, todavía existen aspectos importantes de la naturaleza por los cuales nuestra comprensión científica alcanza sus límites. Eberlin describe de manera concisa una gran cantidad de tales fenómenos, que van desde la vida hasta la astrofísica. Cuando en el pasado se llegaba a tal límite, la fe entraba en juego. Eberlin llama a este principio "previsión". Independientemente de si se comparte el enfoque de Eberlin, queda claro que la naturaleza todavía está llena de secretos que están más allá de nuestra comprensión racional y nos obligan a la humildad.

—Gerhard Ertl, PhD, Premio Nobel de Química (2007),
ex Director del Departamento de Química Física,
Instituto Fritz Haber de la Sociedad Max Planck, Berlín, Alemania

Marcos Eberlin, uno de los mejores químicos del mundo hoy en día, ha escrito un libro excelente y de lectura obligatoria para cualquiera que considere lo que la ciencia dice del universo y la vida.

-Dr. Maurício Simões Abrão, profesor de la Facultad de
Medicina de la Universidad de São Paulo, São Paulo, Brasil, editor en jefe
de la *Revista de endometriosis y trastornos del dolor pélvico*

¿Por qué un hombre se opondría a un ejército? Quizás el hombre esté loco. Quizás quiera suicidarse. O simplemente tal vez el hombre tiene algunas armas muy poderosas. El profesor Marcos Eberlin es este hombre. En *previsión* , Eberlin desafía una teoría aceptada casi universalmente. ¿Cuáles son sus armas para atacar una fortaleza tan fuerte? Es su decisión estar de acuerdo o no con sus pruebas y argumentos. Al final, puedes concluir que tiene razón, o que está realmente enojado. Pero para entender el lado de Eberlin y para ser intelectualmente honesto, este es un libro que debe leerse.

—Brenno AD Neto, PhD, Profesor de Química,
Universidad de Brasilia, Brasilia, Brasil, Editor Asociado de
RSC Advances , una revista de la Royal Society of Chemistry

*Previsión*Me fascinó por su amplitud y profundidad de conocimiento de todas las cosas biológicas. Basándose en su campo específico de la química, Marcos Eberlin revela las formas asombrosas en que la química del ADN y el ARN los hacen perfectos para sus tareas. Si alguna vez se ha preguntado en la clase de biología por qué el ARN usa ribosa y el ADN usa desoxirribosa, o por qué el ARN usa uracilo y ADN timina, el libro de Marcos Eberlin le dirá por qué, y cómo su idoneidad perfecta para su propósito es un ejemplo notable de previsión. Como lo revela la descripción detallada de Eberlin, la química y la biología del ADN y el ARN se unen en un rompecabezas interconectado que hace clic cuando todo está en su lugar. El ajuste, y la previsión necesaria para construirlo, son increíbles. El libro de Eberlin también trata sobre la vida en el nivel de los organismos: todo, desde nuestros órganos sensoriales hasta la reproducción sexual y la maravillosa estructura del huevo de un pájaro. Ninguno de sus argumentos de previsión se basa en la falta de conocimiento, o una mentalidad de Dios de las brechas. Se basan en el conocimiento positivo de lo que requieren la bioquímica y la fisiología de la vida.

—Ann Gauger, PhD, miembro principal, Centro de Ciencia
y Cultura, Coautor, *Ciencia y Orígenes Humanos*

En su libro más reciente, *Foresight* , el galardonado e destacado investigador, el profesor Marcos Eberlin responde de manera contundente a preguntas cruciales sobre el origen de la

vida, utilizando un arsenal de datos científicos actuales. Eberlin ilustra sus puntos con ejemplos variados que revelan una previsión increíble en la planificación de sistemas bioquímicos. Desde las membranas celulares, el código genético y la reproducción humana, hasta la química de la atmósfera, las aves, los órganos sensoriales y las plantas carnívoras, el libro es una luz de buen sentido científico en medio de la oscuridad de la ideología naturalista.

—Kelson Mota, PhD, profesor de química,
Universidad Federal de Amazon, Manaus, Brasil

La previsión es para aquellos que están dispuestos a desafiarse con una nueva perspectiva, para las personas libres que se atreven a ir más allá de los dogmas científicos. El libro de Marcos Eberlin es un viaje a través de la evidencia en química y biología para el papel indispensable de la previsión en el origen de la vida y el universo, presentado por el autor de una manera fácil de entender y atractiva.

—Daniela de Luna Martins, PhD, Profesora Asociada de
Química, Universidad Federal Fluminense, Río de Janeiro, Brasil

La previsión proporciona una nueva y refrescante evidencia, principalmente de la biología, de que la ciencia necesita abrir su perspectiva sobre el origen de los seres vivos para tener en cuenta la posibilidad de que la evolución materialista puramente natural no pueda explicar estos hechos. El libro está escrito en un estilo fácil de leer que será apreciado por científicos y no científicos por igual y alienta al lector a seguir la verdad donde sea que lo lleve, como lo aconsejó Sócrates hace mucho tiempo.

—Michael T. Bowers, PhD, Profesor Distinguido, Departamento de
Química y Bioquímica, Universidad de California Santa Barbara

DEDICATORIA

A mi amada esposa Elisabeth, a mis hijas Thais,

Livia y Niina, mi hijo Nicolás,

y mis nietos Leah, Claire, Theo, Luca y Thomas,

Quienes han seguido o, en lo que confío profundamente, seguiré.

La evidencia a donde lleva. Y sobre todo, al "Foresighter".

CONTENIDO

ELOGIOS
DEDICATORIA
1. PREVISIÓN EN LA VIDA
2. UN MUNDO PREVISTO PARA LA BIOQUÍMICA
3. EL CÓDIGO DE LA VIDA
4. LOS AYUDANTES DE LA VIDA
5. BACTERIA, INSECTOS Y PLANTAS CARNÍVORAS
6. AVES: UN ESTUDIO DE CASOS SOBRE PROSPECTIVA
7. LA PREVISIÓN EN LA FORMA HUMANA: REPRODUCCIÓN
8. PLANIFICACIÓN PARA LOS SENTIDOS
9. LA PROSPECTIVA Y EL FUTURO DE LA CIENCIA
NOTAS FINALES
AGRADECIMIENTOS
CRÉDITO DE ILUSTRACIONES
INDEX

1. PREVISIÓN EN LA VIDA

La biología está en medio de una fiebre de oro por el descubrimiento. en mi institución académica anterior, la Universidad de Campinas en São Paulo, Brasil, dirigí el Laboratorio de Espectrometría de Masas de Thomson durante veinticinco años. Allí, mi equipo y yo profundizamos en muchas áreas de la química, la bioquímica y la ciencia médica que hasta hace poco eran demasiado nuevas como para tener nombres, todo desde proteómica, lipidómica y espectrometría de masas hasta petroleómica y detección de huellas dactilares de bacterias.

Mi investigación, junto con mi papel como presidente de la Sociedad Brasileña de Espectrometría de Masas y la Fundación Internacional de Espectrometría de Masas, me ha puesto en contacto con otros investigadores líderes en Brasil y en todo el mundo. Y cuando nos reunimos en conferencias, la emoción es palpable. Gracias a un conjunto de tecnologías y técnicas innovadoras, casi todas las semanas revela una nueva maravilla en el ámbito biológico.

Algunos de estos descubrimientos arrojan nuevos medicamentos o técnicas médicas, como la pluma para el cáncer, que ha sido premiada en abundancia y recientemente desarrollada por mi hija Livia. Otros dan a los ingenieros nuevas ideas para invenciones en el creciente campo de la biomimética. Aún otros no tienen aplicación práctica inmediata; son solo revelaciones de bello ingenio biológico, descubrimiento científico por su propio bien.

Todo este nuevo conocimiento es estimulante por derecho propio. Al mismo tiempo, ahora estoy convencido de que muchos de estos descubrimientos, tomados en conjunto, apuntan a algo aún más extraordinario. Esta nueva era de descubrimientos está revelando una gran cantidad de soluciones ingeniosas para los principales desafíos de la ingeniería, soluciones que para todo el mundo parecen requerir algo de lo que solo falta. Pondré esto tan claramente como pueda: esta avalancha de descubrimientos parece apuntar más allá de cualquier proceso evolutivo puramente ciego al funcionamiento de un atributo único para las mentes: la previsión.

Y sí, lo sé: se nos dice que está fuera del alcance de la ciencia ir allí. Retomaremos esa reclamación en los siguientes capítulos. Pero independientemente de dónde llegue finalmente a la pregunta de qué conclusiones debería o no debería permitir la ciencia, y si afirma o no en última instancia que esta ola de oro de nuevas evidencias apunta al funcionamiento de la previsión, le insto a que las examine. La curiosidad puede haber matado al gato, pero ha hecho maravillas para la empresa científica.

Los muchos e ingeniosos ejemplos descubiertos en los últimos años son tan numerosos que podrían llenar muchos volúmenes grandes. Las páginas que siguen resaltan solo una pequeña fracción del total. Pero esa fracción está llena de maravillas. Veremos todo, desde engranajes de insectos y camarones que perforan el poder hasta plantas carnívoras y una máquina de proteínas en el ojo aviar que puede aprovechar el enredo cuántico, permitiendo a las aves ver el campo magnético de la Tierra.

Sin embargo, comenzamos con un ejemplo que parece mundano, aunque solo a primera vista.

Una membrana y sus canales

La vida prospera en nuestro diverso entorno planetario, en gran parte gracias a las muchas formas en que la Tierra está afinada para la vida. Pero la Tierra también puede ser extremadamente hostil a la vida. La molécula de oxígeno (O_2) es, por ejemplo, esencial para la vida; pero solo una forma de vida que pueda envolver y transportar eficientemente al diablo O efficiently exactamente a un lugar donde pueda usarse como fuente de energía se beneficiaría de su lado del ángel. De lo contrario, O_2 se convierte en el mayor enemigo de la vida.

Rompa la membrana de una célula viva, exponiéndola al aire, y verá el gran daño que O_2 y una gran cantidad de invasores químicos pueden causar en una célula perforada. La muerte sería rápida y segura. Desde el punto de vista de la ingeniería, entonces, era esencial encontrar una forma de proteger la célula, la unidad más básica de la vida. La solución fue inteligente: la celda estaba rodeada por un fuerte escudo químico, desde el principio.

A menudo se dice que una solución siempre trae consigo dos problemas adicionales, y un protector de membrana celular no es una excepción. Un simple escudo podría, de hecho, proteger el interior de la célula de invasores mortales, pero una barrera de este tipo también evitaría que los nutrientes de la célula lleguen al interior de la célula y atraparía los residuos celulares en su interior. Las moléculas neutras pequeñas podrían pasar a través de la membrana, pero no las biomoléculas más grandes y normalmente cargadas eléctricamente. Un simple escudo sería una receta para una muerte rápida y segura. Para que las células tempranas sobrevivan y se reproduzcan, se necesitaba algo más sofisticado. Los canales selectivos a través de estas membranas celulares tempranas tenían que estar en su lugar desde el principio.

Hoy en día, las células cuentan con tales puertas, canales de proteínas especializados que se utilizan para transportar muchas biomoléculas e iones clave. ¿Cómo se diseñó este transporte selectivo de moléculas neutrales e iones cargados? La teoría evolutiva apela a un proceso gradual, paso a paso, de pequeñas mutaciones tamizadas por la selección natural, lo que se conoce coloquialmente como la *supervivencia del más apto* . Pero un proceso evolutivo gradual paso a paso durante muchas generaciones parece no tener ninguna posibilidad de crear tales maravillas, ya que aparentemente no puede haber muchas generaciones de una

célula, ni siquiera una generación, hasta que estos canales estén en funcionamiento. No hay canales, no hay vida celular.

Entonces, la pregunta clave es: ¿cómo podrían las primeras células adquirir membranas adecuadas y evolucionar conjuntamente con los canales de proteínas necesarios para superar el problema de la permeabilidad?

Incluso algunos evolucionistas comprometidos han confesado la gran dificultad aquí. Como lo expresaron Sheref Mansy y sus colegas en la revista *Nature* , "La función de barrera fuerte de las membranas ha dificultado entender el origen de la vida celular". [1]

Y eso es ponerlo delicadamente. De alguna manera, era necesario diseñar una membrana de doble capa (flexible, estable y resistente) que proteja a la célula de manera rápida y eficiente de la devastadora permeación de O_2, permanezca estable en medios ácidos acuosos y maneje las fluctuaciones en la temperatura y el pH. (Figura 1.1). Para realizar todas estas tareas, el escudo molecular de la célula también necesitaría un mecanismo para detectar cambios en la temperatura y el pH, [2] y reaccionar en consecuencia, ajustando la composición química de la membrana para manejar estos cambios físicos y químicos.

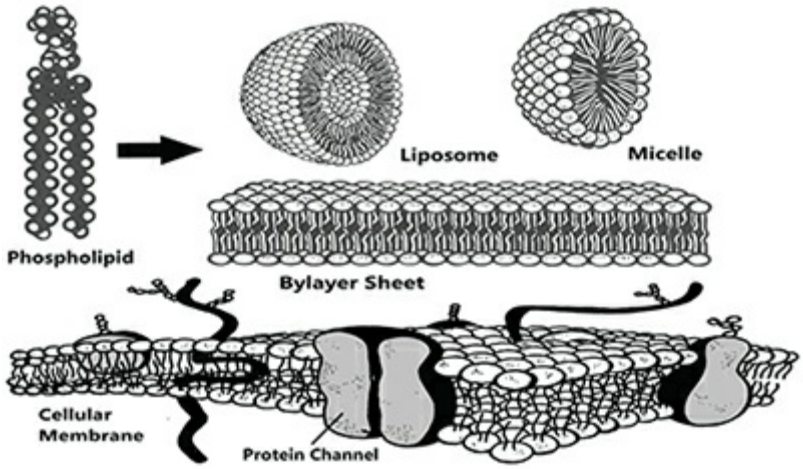

Figura 1.1. La membrana de doble capa encierra nuestras células. Es muy flexible, pero también tiene una alta resistencia mecánica y química. Los muchos componentes intrincados de la membrana y las capacidades que posee que se requieren para mantener viva una célula hacen que la apariencia de previsión en el ensamblaje original de la membrana sea casi abrumadora.

Por ejemplo, como explica Diego de Mendoza, las células bacterianas "remodelan la fluidez de su bicapa de membrana" incorporando "ácidos grasos proporcionalmente más insaturados (o ácidos grasos con propiedades análogas) a medida que la temperatura de crecimiento disminuye". Este proceso se conoce como adaptación homoviscous. Las membranas celulares, en otras palabras, pueden iniciar una serie de respuestas celulares que reaccionan a un cambio en la temperatura ambiental. [3]

Si fueras a ofertar este trabajo multifacético y exigente a las empresas de ingeniería más

avanzadas tecnológicamente del mundo, sus ingenieros más importantes podrían reírse en tu cara o correr a gritar hasta la noche. La tecnología requerida está más allá de nuestros conocimientos humanos más avanzados. Y recuerde, hacer dos o tres cosas sobre este trabajo de membrana, o incluso el 99% del trabajo, no sería suficiente. ¡Es todo o la muerte! Una célula vulnerable que espera mejoras del proceso darwiniano gradual será rápidamente atacada por una gran cantidad de enemigos y morirá, nunca se reproducirá, dando a la evolución ningún tiempo para terminar el trabajo en el futuro.

Parece, entonces, a partir de todo el conocimiento bioquímico que tenemos ahora, que los muchos requisitos cruciales de la membrana celular tenían que ser previstos y entregados a tiempo, para que las primeras células sobrevivieran y se reproducieran en un ambiente acuoso.

Y eso es solo el comienzo de la previsión aparentemente requerida para entregar una membrana lo suficientemente buena para hacer viable la vida celular. Una pared de membrana de este tipo, con sus muchas capacidades intrincadas, también requiere una verdadera navaja suiza de biomoléculas. Y felizmente, estos se proporcionaron en forma de una clase asombrosa de biomoléculas exquisitamente diseñadas: los fosfolípidos (Figura 1.2).

Estas piezas biomoleculares tenían que ser justas. Para construir un escudo químico lo suficientemente sofisticado como para permitir que las células sobrevivan y prosperen, parece que no hay sustituto para los fosfolípidos. A veces me topo con artículos en revistas como *Science* and *Nature* [4] que teorizan sobre membranas de células primordiales más simples hechas de moléculas "rudimentarias" como los ácidos grasos. Pero tales vuelos de fantasía ignoran detalles químicos clave de lo que se necesita para hacer viable la vida celular. Una vez que confrontamos esos detalles, encontramos que ninguna otra biomolécula parece ser capaz de sostener la vida al cumplir los muchos roles intrincados que desempeñan los fosfolípidos.

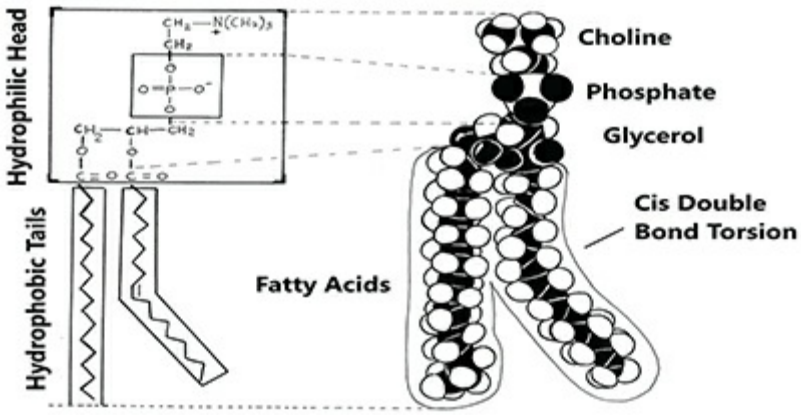

Figura 1.2. Esta simple caricatura solo alude a la compleja estructura molecular de los fosfolípidos.

La estructura de un fosfolípido se puede dividir en dos regiones principales que poseen propiedades físico-químicas bastante opuestas: la cabeza es polar y adora el agua (hidrófila), mientras que la cola no es polar y la odia el agua (hidrófoba). Esta dicotomía de "gustos" es crucial, porque permite un maravilloso truco: en presencia de agua, estas biomoléculas se organizan automáticamente para formar estructuras redondas de doble capa (Figura 1.1) con todas las cabezas polares alineadas al lado de cada uno. otra y las colas no polares alargadas empaquetadas muy apretadas.

Atraídos por fuerzas químicas finamente sintonizadas, dos de estas monocapas se juntan para que las colas de ambas capas también entren en contacto entre sí en una disposición de cola a cola. Este empaque automático de componentes múltiples en 3-D garantiza que las colas que odian el agua se oculten del agua, mientras que las cabezas que aman el agua en las superficies externas e internas están expuestas al agua. Por lo tanto, el agua se coloca dentro y fuera de la célula, pero se expulsa provechosamente del interior de las membranas de fosfolípidos que encierran las células acuosas.

De nuevo, es como si un poder causal con previsión anticipara esta necesidad y diseñara una solución perfecta.

Fosfolípidos

La membrana celular debe ser elástica pero al mismo tiempo también resistente mecánica y químicamente para que pueda proteger continuamente la célula de su entorno fluctuante. Afortunadamente para la vida, las bicapas de fosfolípidos son flexibles, pero también altamente estables, siendo resistentes al estrés mecánico y al pH y las fluctuaciones de temperatura.

Entonces, ¿cómo se obtienen todas estas propiedades? Por medio de un balance fino y dinámico de las diversas propiedades físico-químicas de los muchos constituyentes moleculares de la pared. (Si la siguiente explicación es demasiado técnica para su gusto, siéntase libre de saltar al párrafo final de esta subsección. El resumen allí le dará suficiente para continuar).

El control de estas propiedades químicas se logra principalmente mediante la regulación de la fuerza, la longitud y la orientación 3D de los enlaces carbono-carbono en las colas de lípidos. Un átomo de carbono puede formar cuatro enlaces, incluidos los enlaces con otros átomos de carbono. En los lípidos, dichos enlaces pueden ser simples (CC) o dobles (C = C). Los enlaces simples se llaman "saturados" y los enlaces dobles se llaman "insaturados". Las cadenas laterales (R) unidas a los dos átomos de carbono en un enlace C = C pueden estar en el mismo lado (una disposición llamada "cis": $^{R}C = C^{R}$), o en lados opuestos (una disposición llamada "trans": $^{R}C = C_{R}$).

Los fosfolípidos insaturados contienen principalmente enlaces cis $^{R}C = C^{R}$, que producen curvas muy pronunciadas y correctamente ubicadas en las cadenas largas de hidrocarburos. Las grasas insaturadas cis son menos termodinámicamente estables que sus

análogos trans, pero la variedad cis sigue siendo la ganadora de la cinta azul para este trabajo, debido a que los retorcimientos resultantes en la cadena de ácidos grasos conducen a agregados menos compactos que los lípidos transaturados o los lípidos saturados. Los lípidos insaturados Cis tienen por lo tanto puntos de fusión más bajos que los lípidos saturados o los lípidos insaturados trans. El resultado sorprendente: membranas que pueden hacerse gradualmente más fluidas. [5]

Cadenas de carbono más cortas o más largas y diferentes "cabezas" polares también se usan para controlar las propiedades químicas de estas moléculas: un juego maestro aparente de previsión guiado por una magnífica sabiduría química.

Tenga en cuenta que si atribuimos el origen de las biomembranas a los procesos de material ciego, tendríamos que recurrir a una gran cantidad de "milagros" químicos. Primero, un accidente tendría que construir cadenas de carbono bastante largas que contengan de doce a dieciocho átomos de carbono. Tal accidente es extraordinariamente improbable, estadística y químicamente. Segundo, dos de estas cadenas tendrían que unirse a una molécula de triol: la glicerina. Los enlaces cis $^{R}C=C^{R}$ menos estables también deberían insertarse en las posiciones exactas y en la proporción adecuada para producir la fluidez adecuada. Un anión fosfato (PO_4^{-}) y otro grupo polar, como un grupo etilendiamina, también deben estar disponibles al mismo tiempo y estar correctamente conectados al "Lego molecular" final (Figura 1.2). Como químico, nunca daría por sentado esta cascada de milagros químicos.

Aquellos que se especializan en la química prebiótica normalmente asumen que las "entidades" más bien primitivas rodeadas por "membranas" primitivas con interiores muy inhóspitos para la vida, como los de las micelas de ácidos grasos, fueron capaces de engullir una molécula de "ARN primordial", dando lugar a la vida. en la tierra.

Como sostienen Sheref Mansy y sus colegas en un artículo de 2008 de *Nature* , "Los ácidos grasos y sus correspondientes alcoholes y monoésteres de glicerol son candidatos atractivos para los componentes de las membranas de protocélulas". La razón de esta esperanza es que hacen dos cosas cruciales. Primero, forman sacos de membrana bicapa que retienen pequeñas moléculas de ARN, y pueden crecer y dividirse, [6] lo cual es esencial si la entidad primitiva va a poder reproducirse. Esta entidad de pre-vida propuesta supuestamente inició la síntesis de las primeras proteínas de la vida.

Pero si esto sucedió, ¿de dónde provienen los aminoácidos necesarios para la síntesis de proteínas? Tendrían que venir de afuera, por supuesto, de la "sopa primordial" y migrar a través de los canales a estas "células primordiales". Pero en este punto en el escenario propuesto no hay canales de membrana, por lo que los aminoácidos tendrían migrar a través de la “membrana primordial” para llegar al interior de la célula. Pero estas membranas primordiales constituirían una barrera química insuperable para la permeación de aminoácidos, por lo que la esperanza es químicamente imposible. Si no hay una ruta hacia el interior de la celda, la celda muere en poco tiempo. No hay supervivencia. Sin reproducción. No hay evolución.

Así que, nuevamente, la intimación de la previsión es poderosa. Una exquisita membrana de fosfolípidos para la célula aparentemente tuvo que ser anticipada, diseñada y puesta a disposición justo cuando el interior de la célula apareció en la escena, para que una célula sin piel se encuentre con un final seguro y rápido. Y dado que las células primitivas obviamente sobrevivieron, prosperaron y se reprodujeron, dejando a la descendencia hasta el presente, es científicamente plausible concluir que de alguna manera esta extraordinaria membrana apareció en la escena en ese momento original de necesidad. Algunos insisten en que era una fortuna ciega. No estoy de acuerdo y nos exhorto a considerar una segunda posibilidad: la previsión de la ingeniería.

Aquaporins: Filtros De Agua Extraordinaire

Las membranas de la bicapa lipídica protegen y acomodan la vida, pero como se señaló anteriormente, la célula también necesita canales para transportar materiales esenciales dentro y fuera. Si hubiésemos contratado el trabajo a una de las principales compañías de nanotecnología que empleara todos sus poderes de previsión de ingeniería, no podríamos haber estado más satisfechos con el resultado. Estas membranas de la bicapa lipídica vienen con ensamblajes de proteínas 3D que funcionan a la perfección como canales selectivos. Estos canales son lo suficientemente inteligentes como para dejar entrar lo que se debe permitir y mantener lo que se necesita mantener fuera.

Para que un modelo evolutivo de orígenes de membrana funcione, debe dar cuenta de la evolución conjunta de las proteínas asociadas a la membrana, la bioenergética de la membrana y las bicapas lipídicas [7,] un milagro triple concatenado. Los intentos de luchar con esta pregunta a menudo comienzan con una confesión de desconcierto, como cuando AY Mulkidjanian y sus colegas escribieron que "el origen (s) de la (s) membrana (s) y de las proteínas de la membrana sigue siendo enigmático". [8]

Una cosa que los canales de membrana deben permitir es el paso del agua. Para esta tarea esencial, las biomembranas contienen canales especiales llamados "acuaporinas". Las células son cibernéticas, ciudades multimoleculares llenas de máquinas de alta tecnología, centrales eléctricas e incluso nano-robots. Pero para que toda la nanotecnología funcione correctamente, necesita lo mismo que usted y yo necesitamos en grandes cantidades: el agua. De hecho, esta molécula simple, pero esencial y maravillosa, H_2O, con tantas funciones celulares, debe poder entrar y salir del interior de la célula para que la célula sobreviva y prospere.

Sin embargo, la entrada y salida de agua debe controlarse cuidadosamente para que la célula sobreviva. Esta necesidad de control surge porque las moléculas de agua están conectadas por enlaces de hidrógeno, y su red de enlace de hidrógeno hace que el agua funcione como un "cable de protones" que transporta protones (H^+) hacia abajo, de la misma manera que un cable eléctrico transporta corriente eléctrica. Pero por razones metabólicas, todas las células deben mantener sus interiores eléctricamente negativos. Las

células manejan esto con canales de membrana especiales que controlan el transporte de iones de sodio (Na^+) y potasio (K^+). Si las acuaporinas dejaran que el agua entrara a la celda libremente, los "cables de protones" permitirían iones de hidrógeno cargados positivamente (H^+) para abrumar los esfuerzos de la célula para seguir siendo electronegativo. Así que una simple puerta de agua no es suficiente.

Este desafío de ingeniería no es fácil de resolver, incluso si imaginas a un ingeniero con poderes fuera de este mundo. Si un ingeniero de este tipo cambiara las propiedades intrínsecas de la molécula de H_2O para eliminar su capacidad de alambre de protones, esto destruiría muchas de las otras propiedades inusuales y esenciales para la vida del H_2O. Pero felizmente, se encontró una solución ingeniosa que no requería que el agua fuera rediseñada.

Las acuaporinas [9] en las membranas celulares no solo permiten que el H outO entre y salga de la célula, sino que también evitan las impurezas como los iones no deseados y otras biomoléculas dañinas, así como los iones de hidrógeno cargados positivamente (H^+) que normalmente viajan libremente a lo largo de los cables de protón de H_2O. .

Entonces, ¿cómo se logra esta tarea intrincada? [10] Echemos un vistazo y veamos.

Si lo que sigue es demasiado técnico para sus gustos, siéntase libre de pasar al siguiente subtítulo, donde resumo la discusión.

En las compuertas de agua de la acuaporina, un aminoácido especial conocido como asparagina se coloca perfectamente, en el punto exacto de paso de una única molécula de H_2O. [11] La asparagina es un miembro del maravilloso conjunto de aminoácidos que son importantes para construir y dar forma a las estructuras de las proteínas, pero además posee un grupo lateral capaz de establecer dos enlaces H muy fuertes y orientados espacialmente con moléculas de H_2O. La alineación perfecta en 3D de este aminoácido, perpendicular al paso del cable de protones H_2O, puede funcionar como un verdadero “alicate molecular” para cortar el cable H_2O.

Así es como funciona. Exactamente en el momento en que pasa a través del orificio del filtro, el H_2O se tuerce con asparagina. Esta maniobra exquisitamente orquestada, impulsada por enlaces H más fuertes, rompe la red de enlaces H del agua, cortando así el cable H^+. Con un cable H^+ roto , H_2O entra libremente en la celda mientras su compañero no invitado, H^+, está bloqueado en la puerta. Otro problema de vida o muerte anticipado y neutralizado.

Aquaporin Power

Aquaporins, entonces, es una solución ingeniosa para un problema de ingeniería diabólicamente complicado. Pero en nuestra experiencia uniforme y repetida, las ingeniosas soluciones de ingeniería son logradas por genios: mentes que aplican la experiencia y la previsión de un problema que no pueden ser resueltos por otros ingenieros, y mucho menos por fuerzas naturales sin mente.

Entonces, ¿fue la ingeniosa solución de la membrana celular al problema del alambre de protones un trabajo de fortuna ciega, o brillante previsión? El descubrimiento de esta maravilla del ingenio molecular ganó el Premio Nobel de Química de 2003, "por el descubrimiento de canales de agua" y "por estudios estructurales y mecanicistas de los canales de iones". [12] Pero si se requirió inteligencia de calibre Nobel para descubrir cómo La maravilla de ingeniería existente funciona, ¿qué se requería para inventarla en primer lugar?

La explicación dominante en la biología de los orígenes involucra alguna forma de variación aleatoria / mecanismo de selección natural, por el cual se dice que la naturaleza ha escalado los diversos Monte Improbables [13]Nos encontramos en la biología, un pequeño paso mutacional a la vez. Sí, hay adiciones y otros ajustes a este mecanismo básico en la teoría evolutiva moderna, pero estos tienen deficiencias significativas (ver el capítulo final). Además, excave el tiempo suficiente y encontrará que alguna versión del mecanismo de posibilidad / selección juega un papel clave en todos los modelos líderes de orígenes biológicos. El problema es que la selección natural solo puede funcionar una vez que exista una célula viable y autorreproductiva, y solo puede progresar si cada etapa del proceso evolutivo de construcción propuesto puede conservarse y transmitirse. Sin embargo, nada se conserva y se transmite si las primeras proto-células mueren rápidamente debido a la falta de una membrana celular completamente funcional, capaz de realizar las muchas tareas esenciales descritas anteriormente (entre muchas otras).

No hay membrana celular multitarea, no hay vida. No hay vida, no hay evolución gradual por variación aleatoria y selección natural. Una hipotética membrana primitiva con una acuaporina parcialmente desarrollada, una que permitía la entrada de agua pero que aún no había desarrollado la capacidad de bloquear la entrada de H^+, no tendría ninguna posibilidad de supervivencia. Una célula así, rodeada por los muchos enemigos de un océano primordial o "pequeño estanque caliente", moriría rápidamente. No hay supervivencia. Sin reproducción.

Las puertas que solo funcionan con H_2O (no se permite H^+) son un “deber” para cualquier tipo de célula, desde las más sofisticadas a las más “rudimentarias”, si alguna vez existió alguna célula rudimentaria en este planeta. Estas puertas altamente selectivas y exquisitamente diseñadas deben estar allí desde el principio. No H^+ - agua libre, no hay vida.

Y el desafío de los cables de protones, recuerde, es solo uno de los problemas que necesitan una solución. Una única compuerta de agua parcialmente desarrollada con orificios demasiado pequeños o demasiado grandes podría bloquear el agua por completo o permitir que otras moléculas contaminantes ingresen a la célula y la destruyan. Una puerta de agua exitosa en este caso plantea un desafío de "todo o nada" para la vida. Prevenga la necesidad de estas compuertas de agua exquisitamente precisas y, de alguna manera, las diseñe para la entrega justo a tiempo, o la gran puesta en marcha llamada vida se derrumba rápidamente.

Y lo que es verdad de las compuertas de agua es verdad de muchos otros aspectos de la membrana celular. Si nos guiamos solo por la evidencia, esta maravilla de ingeniería compleja y multifacética parece estar fuera del alcance del mecanismo de variación aleatoria / selección natural. Otro tipo de causa parece necesaria, una que puede prever e diseñar una membrana celular en toda su maravillosa sofisticación, para la entrega justo a tiempo.

Y, de hecho, las soluciones multifacéticas de este tipo, las que anticipan problemas que de otra manera detendrían cualquier posible desarrollo evolutivo en sus pistas, son evidentes durante toda la vida. En los capítulos que siguen, veremos muchos otros ejemplos espectaculares.

2. UN MUNDO PREVISTO PARA LA BIOQUÍMICA

Todavía recuerdo vívidamente la primera vez que vi el océano. Fue en los años 60, durante las vacaciones de verano. Tiempo para divertirse, así que mi padre llevó a nuestra familia de seis en nuestro Volkswagen Kombi van a Santos, una playa en Brasil donde Pelé solía jugar al fútbol. Nuestros padres nos habían hablado mucho sobre el océano y, ardiendo de anticipación, mi hermano, dos hermanas y yo seguimos preguntando desde el asiento trasero: "¿Cuánto tiempo?", Hasta que por fin oímos las olas y sentimos la brisa salada que entraba. Las ventanas abiertas.

Todavía no estábamos en nuestro destino, pero mi padre, sabiendo lo ansiosos que estábamos, nos detuvimos en un lugar cercano a la costa y detuvimos el Kombi para que pudiéramos salir de la camioneta y tomar el océano por primera vez.

Figura 2.1. Cuando tuve mi primera experiencia del océano cuando era niño, me asombraron las maravillas que me rodeaban. Recuerdo que me pregunté: *¿Quién hizo todo esto?*

Nunca olvidaré esa sensación: el olor del mar, el cielo azul y el agua verde, la arena granulosa bajo mis pies, el cálido sol en mi piel, el agua lamiendo mis pies.

En ese momento estaba completamente despierto a las maravillas de la Tierra. Pero las maravillas de la Tierra están con nosotros todos los días; nuestros ojos simplemente se oscurecen ante ellos. Nuestro planeta está lleno de maravillas, desde una atmósfera

transparente hasta coloridos arcoiris, la aurora boreal, noches estrelladas, pájaros, libélulas y ballenas, amaneceres, abejas zumbando y flores grandes y pequeñas.

Para un niño pequeño, la primera vista de una nueva vista de las maravillas naturales es a menudo inolvidable; pero a medida que envejecemos, a veces olvidamos seguir contemplando, para seguir viendo un mundo lleno de olores, texturas, colores y sonidos, para seguir apreciando las cosas asombrosas que nos rodean.

La ciencia me ha ayudado a mantener en la edad adulta ese sentido de maravilla. Absoluta maravilla y gratitud.

En el último capítulo, vimos cómo la célula está cuidadosamente diseñada con una membrana de bicapa lipídica y canales selectivos. Estos componentes son esenciales desde el principio. No habría ninguna esperanza de que una célula fuera viable si tuviera que remendar mutaciones durante miles de generaciones en busca de una membrana funcional. Es anticipar o morir. Como veremos en el resto del libro, esta necesidad de anticipar también se aplica a muchos otros sistemas y características a lo largo de la vida, desde la célula más simple hasta la función del cuerpo humano. La evidencia de la previsión es abundante, ya que aparece en casi todas partes en que giras tus ojos en biología.

También está esto: todas esas maravillas dependen de niveles más profundos de previsión. La ciencia ha revelado que la Tierra y el cosmos muestran capas y capas de características esenciales para la vida. Es un descubrimiento maravilloso, y es el tema de este capítulo.

Ajuste fino y previsión

Actualmente, se cree que hay al menos veintiséis constantes físicas en el universo cuyos valores precisos deben establecerse cuidadosamente para permitir la vida. Estas constantes son cosas como la velocidad de la luz (c), la constante gravitacional (G) y la constante de Planck (h). Todos sus valores, especialmente adaptados para permitir (aunque no para causar) el increíble despliegue de bioquímica que exploramos en este libro, caen bajo una idea que los científicos denominan "ajuste fino".

Esta sintonización fina se ilustra comúnmente utilizando un dial de radio que debe ajustarse exactamente a la frecuencia correcta, “sintonizado”, para encontrar la estación deseada. Si el universo fuera una radio y la frecuencia deseada permitiera la vida, tendría docenas de diales para establecer los valores de las constantes universales. [1] Muff, incluso una sola de estas configuraciones de marcación, incluso un poquito cuando se sintoniza por primera vez el universo, y el resultado sería un universo sin vida. Por ejemplo, si la fuerza gravitatoria fuera un poco más fuerte de lo que realmente es, las estrellas se quemarían demasiado rápido para funcionar como proveedores estables de energía para la vida; un poco más débil, y las estrellas y los planetas se volverían inestables demasiado rápido o, en primer lugar, nunca se formarían. [2] Esencialmente, las leyes y las constantes de la física se establecen para sustentar la vida.

Al examinar algunas de las constantes afinadas que se habían descubierto en la década de 1980 (y se han descubierto muchas más desde entonces), el físico Fred Hoyle notó que estaban tan atentos a la vida que parecían ser "una solución" Es decir, planeado. Se sintió motivado a concluir: "Una interpretación de sentido común de los hechos sugiere que un superintelecto se ha juntado con la física, así como con la química y la biología, y que no hay fuerzas ciegas de las que valga la pena hablar en la naturaleza". [3]

Tenga en cuenta que Hoyle no era un hombre religioso; él era un ateo. Simplemente reconoció lo que muchos otros también tienen, incluidos algunos de los principales físicos y astrónomos del mundo: el ajuste fino del universo proporciona algunas de las pruebas más convincentes para una inteligencia de diseño detrás del cosmos.

Los teóricos esperan encontrar una teoría unificada de todo, y algunos de los que desean evitar la implicación del diseño esperan que tal descubrimiento disminuya el número de tales constantes fundamentales. Sin embargo, si esto ocurre, las superconestantes descubiertas, aunque menos numerosas, necesariamente se ajustarán a un grado aún más sorprendente que las constantes que subsumieron.

Hasta ahora, sin embargo, la tendencia ha sido en la dirección opuesta. Cuanto más aprenden los científicos sobre el universo, más constantes afinadas descubren para un universo que sustenta la vida. Veamos algunos de estos ahora.

El agua: una matriz química ideal

Nuestra tierra está idealmente adaptada de muchas maneras para albergar la vida. Con su rotación cuidadosamente programada de veinticuatro horas, su gran luna estabilizadora, su ubicación en la zona habitable galáctica de la Vía Láctea, su perfecta distancia de una estrella especial y sus planetas gigantes de gas vecinos que la protegen de muchos de los peligros del espacio, la Tierra Es curiosamente amigable con la vida.

Pero a pesar de todas estas condiciones, la Tierra aún no habría podido albergar vida si careciera de propiedades especiales para permitir la bioquímica. Por ejemplo, su corteza sólida crucial podría haber sido fácilmente un desierto, ardiendo durante el día y congelando por la noche. Si este hubiera sido el caso, ningún ajuste cuidadoso de las distancias, las propiedades físicas / químicas o el período de rotación habrían hecho una diferencia. Afortunadamente, una molécula maravillosa con docenas de propiedades únicas proporcionó a la Tierra una solución que anticipó perfectamente esta necesidad: el agua.

Para la mayoría de nosotros, el agua pura, inodora e incolora, es fácil de dar por sentado. Pero en realidad es un gran milagro químico. Una gran cantidad de propiedades y valores de la química y la física tenían que ser justos para hacer posible el agua y sus muchas anomalías esenciales para la vida.

También afortunado: aunque el agua líquida es muy difícil de alcanzar en otras partes de nuestro sistema solar, la superficie de la Tierra tiene una cantidad significativa de tierra y agua líquida en su superficie, específicamente, una proporción de agua 2 a 1 a la tierra. [4] Este

es un golpe de suerte porque el agua líquida es crítica para la vida y es el único líquido en un rango relativamente estrecho de temperaturas y presiones. Este rango es inimaginablemente estrecho en comparación con el amplio rango de temperaturas y presiones que se encuentran en el universo, y sin embargo, son exactamente los que están presentes en la Tierra.

El sistema solar y más allá es de hecho "inundado de agua" [5,] pero principalmente en formas sólidas o gaseosas que hacen poco bien la vida. En la Tierra, sin embargo, tenemos agua en los tres estados. Y necesitamos los tres estados para que la vida prospere aquí. Si esta necesidad no hubiera sido anticipada, y la Tierra fuera típica de otros planetas en nuestra galaxia, la vida nunca podría haber existido aquí.

El conjunto diverso de características químicas del agua resuelve muchos problemas que de otro modo serían un callejón sin salida para la vida. [6] Su alto calor específico modera los cambios de temperatura entre la noche y el día, estabilizando la temperatura al absorber el calor durante el día y liberarlo durante la noche. La gran cantidad de calor necesaria para evaporar el agua también nos ayuda a refrescarnos en los días calurosos de verano a través del enfriamiento evaporativo de nuestra piel desnuda.

El agua no solo es crucial en la superficie de la Tierra y en la atmósfera. También es crucial para la bioquímica de nuestros cuerpos. El agua, que representa casi dos tercios de nuestro peso corporal, es tan importante para el funcionamiento humano que morimos en cuestión de días por falta de ella. Sirve este papel crucial gracias a muchas de sus propiedades inusuales. Para dar un ejemplo: el agua es un conductor de calor relativamente pobre, y esta anomalía evita que los organismos hiervan o se congelen demasiado fácilmente.

Otras propiedades inusuales permiten que el agua penetre en las membranas celulares, asciende a través de un fuerte efecto capilar hasta la cima de árboles incluso muy altos y se evapora de la superficie de las hojas según sea necesario, lo que permite a las plantas transportar nutrientes y realizar con éxito una gran cantidad de operaciones bioquímicas.

Las bases para estas y muchas otras propiedades vitales del agua parecen haber sido establecidas antes de que el agua surgiera en el universo. Estas propiedades incluyen:

- Las masas específicas. y cargas eléctricas de los neutrones, protones y electrones que forman sus átomos H y O.
- Las fuerzas precisas de las fuerzas nucleares que estabilizan los protones y los neutrones y los mantienen unidos en el núcleo.
- La fuerza precisa de la fuerza electromagnética.
- Las reglas químicas y las leyes cuánticas físicas que dan forma a los orbitales moleculares de enlace y no enlace del agua que contienen pares de electrones originales de hidrógeno (H) y oxígeno (O) en niveles de energía específicos en la molécula de H_2O.

- El Principio de exclusión de Pauli que limita a dos el número de electrones en cada uno de estos orbitales moleculares.
- La fuerza de la fuerza de repulsión para los pares unidos y no unidos de los electrones que rodean el átomo de oxígeno central, una fuerza determinada por una serie de constantes universales que controlan directa e indirectamente el comportamiento de dichos átomos y el ángulo preciso de la configuración de HOH.

La lista podría seguir y seguir. Estas muchas propiedades y valores debían ser equilibrados con precisión, de antemano, para crear las docenas de anomalías exquisitas de agua que hacen posible la vida en la Tierra. Parece que fue planeado antes de tiempo.

Las propiedades del agua son tan extrañas que un artículo en la prestigiosa revista *Nature* sugirió que tiene una especie de "memoria" [7] que podría digitalizarse, transmitirse y reinsertarse en otra muestra de agua. Aunque el agua puede no tener "memoria" en *sí* misma, parece que algo o alguien capaz de memoria y previsión está detrás de la existencia del agua.

El agua como super solvente

Otra sorprendente propiedad química del agua que la hace tan importante para la vida en la Tierra es su capacidad para disolver tantas sustancias diferentes, transportando todo tipo de nutrientes y productos de desecho a lo largo, así como dentro y fuera de las células de plantas y animales.

El agua es polar, lo que significa que su densidad electrónica no está distribuida uniformemente alrededor de la molécula. Un lado es deficiente en electrones (positivo) y el otro es rico en electrones (negativo). Esta polarización, junto con el tamaño y la capacidad de la molécula de agua para formar enlaces de hidrógeno, ayuda a disolver los aminoácidos, algunos péptidos, hormonas, proteínas globulares y varias otras biomoléculas, así como las sales inorgánicas. Aunque no disuelve todas las sustancias (muy afortunadamente, ver más abajo), el agua disuelve más sustancias que cualquier otro líquido, de modo que a veces se lo denomina "el disolvente universal".

Cuando observamos la composición atómica del agua, vemos otro nivel crucial de belleza, sofisticación y ajuste químico. Los tres átomos de la molécula de agua están configurados de manera angular (104.5 °), y los átomos de H y O tienen electronegatividades distintas. Estas características, tomadas en conjunto, la convierten en una molécula bastante polar con densidad electrónica asimétrica. Esto hace que el agua sea excelente para solventar iones y mover estos iones encapsulados alrededor de las células y el cuerpo humano.

Al mismo tiempo, el agua no exagera su capacidad llamativa para disolver las cosas. Afortunadamente para la vida, las biomoléculas grandes, como los ácidos grasos y las proteínas grandes que forman la estructura de nuestros cuerpos, son insolubles en

agua. Buena cosa. Esta insolubilidad nos permite "cantar bajo la lluvia" y nadar, bañarnos y beber té caliente y limonada sin ser arrastrados debido a la solvencia casi universal del agua. Estamos hasta dos tercios de agua. Si el agua ganara repentinamente la capacidad de disolver estas biomoléculas, nos fundiríamos como la bruja malvada al final de *El mago de Oz* .

En lugar de disolver proteínas, el agua las ayuda a plegarse. Este plegado es ayudado por el fuerte *momento dipolar* del agua . Un momento dipolar se crea cuando los átomos de una molécula comparten sus electrones de manera desigual. El momento dipolar único del agua establece sus enlaces de hidrógeno, mientras que un ángulo de HOH específico de 104.5 ° calibra su polaridad, permitiendo que el H_2O establezca enlaces de hidrógeno fuertes con proteínas. Este tirón químico permite que las proteínas nacientes se plieguen adecuadamente en formas tridimensionales específicas y funcionales, que son esenciales para su actividad biológica.

La rareza del hielo flotante

Debido a las leyes de la física, el estado sólido de una sustancia es casi siempre más denso que su estado líquido. Hay, sin embargo, una excepción importante a la regla: el agua. Al alcanzar una densidad máxima de aproximadamente 39 ° F (4 ° C), el agua es en realidad menos densa cuando se congela. Esta característica anómala permite que el agua circule y revitalice los cuerpos de agua en la Tierra, transportando gases nocivos a la superficie y oxígeno al fondo.

Considera la alternativa. Si el hielo no flotara, si fuera más denso que su forma líquida, como es el caso de la gran mayoría de los líquidos, los lagos en climas más fríos se congelarían de abajo hacia arriba, poniendo en peligro la vida del lago. Los océanos también se congelarían, no solo en los polos donde ahora se congelan, sino en los fondos oceánicos, y la congelación se extendería mucho más al sur y al norte de los polos, una situación devastadora para la vida marina. [8]

En cambio, el hielo se expande al congelarse, por lo que flota en la parte superior, preservando la vida. La vida se conserva, por lo tanto, porque al agua le gusta romper las reglas. El hielo es más ligero (menos denso) que el agua líquida, y es un aislante térmico inusualmente bueno. Juntas, estas dos propiedades forman una capa de hielo aislante que evita que los lagos se congelen hasta el fondo, por lo que los animales pueden seguir viviendo debajo del hielo. Es una solución loca para un problema inherente, pero también es muy ingenioso. Si el agua dejara de ser anómala en estas formas, la vida estaría en serios problemas.

Consideremos otro escenario contrafactual. Supongamos que el agua podría permanecer en un líquido muy por debajo de los 32 ° F y nunca congelarse dentro del rango de temperatura ambiente de la Tierra. Entonces, el agua perdería la mayor parte de sus

propiedades decorativas: no más nieve, ni multitud de formas de cristales de agua, ni soñar con una Navidad blanca, ni trineos en invierno ni majestuosos glaciares. ¡Que pérdida!

Pero para entender cuán verdaderamente única es el agua, debes investigarla a nivel molecular. El peso molecular (MW) de H_2O es 18 Daltons (Da). El MW de metano (CH_4) es bastante cercano a 16 Da (solo 2 Da menos), pero el H_2O tiene puntos de fusión y ebullición notablemente altos (32 ° F y 212 ° F respectivamente) en comparación con CH_4 (-296.5 ° F y -258.9 ° F). El H_2O también tiene un amplio rango de temperaturas (que abarca 180 ° F) donde puede permanecer como líquido, en comparación con el metano, que tiene una "ventana de líquido" de solo 37.6 ° F.

La energía requerida para vaporizar agua líquida también es cuatro veces mayor que para el metano. El hielo también requiere mucha energía para derretirse, calentarse y luego vaporizarse, lo que permite que los océanos almacenen grandes cantidades de calor. Esta es una gran parte de por qué el clima es tan templado en muchas ciudades costeras. La humedad en el agua y en el aire tiende a suavizar los grandes cambios de temperatura. [9] En contraste, los desiertos, que por supuesto carecen de humedad, tienden a ver cambios bruscos de temperatura.

Apenas hemos arañado la superficie de las propiedades anómalas y amigables con la vida del agua. Teniendo en cuenta todo esto, una de las características más sorprendentes del agua es su simplicidad química. Es una molécula maravillosamente elegante: HOH: solo dos del átomo más pequeño, ^{1} H, unido a un átomo de ^{16} O sencillo y también relativamente ligero . ¿Cómo se puede encontrar esta simple molécula para realizar tantos trucos de magia y tener tantas propiedades extrañas? La simplicidad del agua es también un argumento para el diseño y la previsión. A menudo se dice que el uso de cosas simples para lograr resultados complejos es una marca de genio. Como dijo el autor francés George Sand, "La simplicidad es lo más difícil de asegurar en el mundo ... el último esfuerzo de un genio". [10] La humilde molécula de H_2O resuelve múltiples problemas complejos para la vida en la Tierra con gran simplicidad.

La atmosfera perfecta

Nuestro ambiente también es sorprendente y necesario. Entre otras cosas, nos protege de los bombardeos desde el espacio. Filtra la peligrosa radiación del Sol mientras permite que pase la luz crucial. Y modera la temperatura de la tierra.

Nuestra atmósfera está formada por los gases correctos en las proporciones adecuadas para sustentar la vida en la Tierra: 21% de oxígeno (O_2), 78% de nitrógeno (N_2) y un poco de argón (Ar), dióxido de carbono (CO_2), y Vapor de agua (H_2O).

Estos gases no son reactivos entre sí, un factor crucial para la estabilidad a largo plazo.

Sabemos que O_2 es lo que necesitamos para respirar para producir energía química en nuestros cuerpos, entonces ¿por qué son necesarios todos esos otros gases? Una atmósfera con OO puro sería desastrosa para la vida en la Tierra. Las plantas, que requieren dióxido

de carbono, serían imposibles. Los incendios forestales rabiarían incontrolablemente. E incluso los que respiran oxígeno, incluidos los animales, sufrirían de exceso de oxígeno. El nitrógeno (N_2) es un gas estable y no reactivo que diluye O_2 a una proporción amigable con la vida.

La atmósfera de la Tierra también contiene trazas de otros gases, como Ar, CO_2 (de los volcanes) y CH_4 (del ganado). Aunque solo están presentes en pequeñas cantidades, son necesarios para la vida, formando el efecto invernadero perfecto para que la vida se mantenga caliente y tenga acceso a suficiente energía.

El N_2 también es esencial para la vida en la Tierra y está perfectamente adaptado para ser el principal constituyente de nuestra atmósfera, ya que crea una atmósfera lo suficientemente gruesa como para estabilizar el agua líquida del planeta y resistir el bombardeo cósmico. N_2 es una molécula altamente estable y químicamente inerte formada por dos átomos de N≡ N estrechamente unidos por tres enlaces, lo que proporciona un "solvente" perfecto para O_2. La mezcla final tiene la presión y densidad de aire adecuadas para facilitar la respiración y destruir la mayoría de los desechos del espacio. El N provides también proporciona átomos de nitrógeno para los aminoácidos, los componentes básicos de las proteínas, y también para una maravillosa variedad de otras biomoléculas cruciales que contienen nitrógeno.

Por lo tanto, N_2 y O son esenciales para la vida en la Tierra y en aproximadamente la proporción específica que se encuentran en nuestra atmósfera.

Nuestra atmósfera N_2-plus-O_2 es transparente a las ondas de radio y luz visible; por lo tanto, podemos apreciar esa multitud de estrellas en el cielo nocturno, mientras que la atmósfera crea un cielo azul durante el día y una puesta de sol rojiza. Esta mezcla de gases bloquea la radiación dañina del Sol incluso cuando nos permite ver mucho espacio y enviar y recibir ondas de radio. ¡Qué exquisito equilibrio!

Pero incluso con una atmósfera tan excelente, queda un problema por resolver: los animales consumirían rápidamente O_2 y N_2, convirtiendo O_2 en CO_2 y quemando la Tierra de un efecto invernadero excesivo. La Tierra también necesitaba procesos para fijar sistemáticamente N_2 en el suelo y los océanos en una forma bioquímicamente útil. Y, de hecho, estos procesos están en su lugar. Una red altamente intrincada que incluye rayos, microbios, plantas y animales crea los ciclos O_2 y N_2 de la Tierra. [11]

Si la dilución adecuada de O proper y la presión del aire fueran las únicas preocupaciones importantes, se podrían seleccionar otros gases, pero el efecto invernadero de tales gases podría estropear la sopa. Los gases como el dióxido de carbono (CO_2), el vapor de agua (H_2O), el metano (CH_4) y el ozono (O_3), que son comunes en la atmósfera de otros planetas, podrían funcionar como solventes O high, pero las altas concentraciones de estos también podrían atrapar mucho calor

Note otro balance de la atmósfera terrestre. Si la Tierra no tuviera ninguna atmósfera, como Mercurio, demasiado calor se filtraría en el espacio durante la noche, congelando

cualquier vida. Venus tiene el problema opuesto. No es tan cercano al Sol como su vecino Mercurio, pero es el planeta más caliente de nuestro sistema solar porque su atmósfera es casi exclusivamente CO_2. Esto causa un efecto invernadero extremo, lo que resulta en una temperatura promedio de 864 ° F. Entonces, la atmósfera de Mercurio, muy poco. La atmósfera de Venus, demasiado. La de la Tierra, justo.

Ozono

He guardado para el final el mejor ejemplo de previsión evidente en nuestra atmósfera: la capa de ozono.

La capa de ozono muestra una exquisita interacción de soluciones cuidadosamente diseñadas. El Sol emite aproximadamente el 90% de su radiación en el rango visible e infrarrojo (IR), perfecto para la vida y la fotosíntesis. Pero el otro 10% de la luz solar está compuesta de diferentes subconjuntos de radiación ultravioleta (UV), algunos de los cuales son dañinos y otros beneficiosos para la vida. Por ejemplo, un poco de UV-B es beneficioso, ya que se requiere que produzca vitamina D para fortalecer los huesos, mientras que algunas aves, insectos y mamíferos pueden ver los rayos UV-A y usarlos para cazar. Los rayos UV también se usan para tratar algunas afecciones de la piel, como la psoriasis, el vitiligo, la esclerodermia localizada y la dermatitis atópica. [12] Pero otras porciones de luz UV son dañinas.

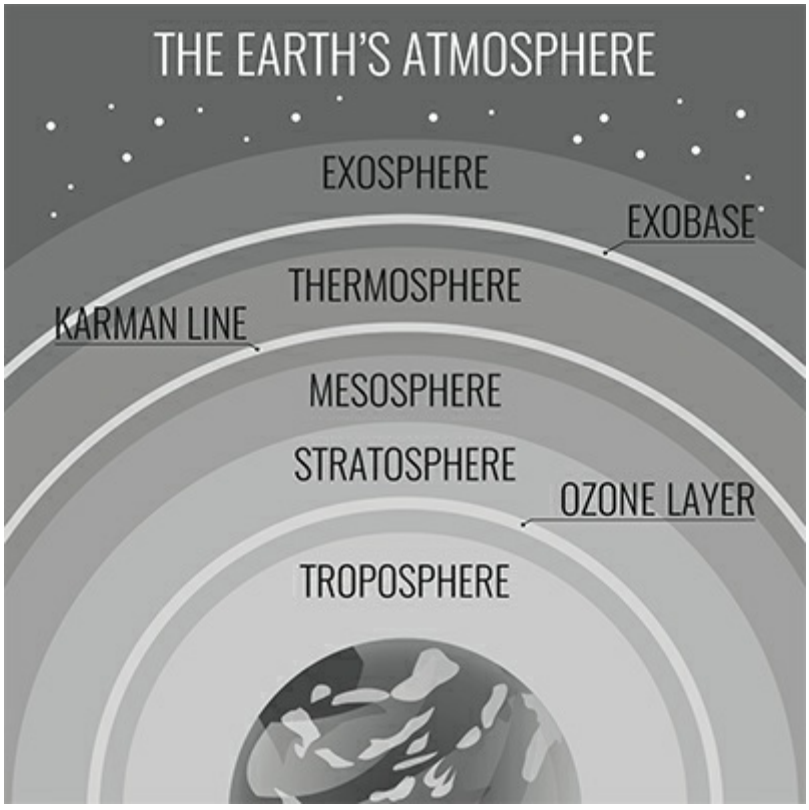

Figura 2.2. La atmósfera de la Tierra nos protege de los bombardeos desde el espacio. Filtra la radiación peligrosa y permite que pase la luz crucial. Modera la temperatura. Y su receta de gases es justo lo que necesita para vivir: 21% de oxígeno (O_2), 78% de nitrógeno (N_2) y un poco de argón (Ar), dióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua (H_2O).

El ambiente está perfectamente equipado para resolver este dilema del "diablo / ángel", bloqueando a la gran mayoría de las cosas dañinas y dejando que las cosas buenas pasen. Lo que se conoce como la capa de ozono juega un papel crucial aquí.

Esta capa atmosférica ocupa la franja inferior de la estratosfera, una porción que se extiende de nueve a veintidós millas sobre la superficie de la Tierra. No es ozono puro, pero es más rico en ozono (O_3) que otras partes de la atmósfera, que contienen unas pocas partes por millón de esta molécula triatómica esencial. La luz UV emitida por el Sol se compone principalmente de tres subtipos: UV-A, UV-B y UV-C, así como un poco de UV-E. La capa de ozono absorbe el 97–99% de la luz UV-B, lo que podría ser potencialmente dañino para la vida en dosis más altas, pero proporciona un beneficio neto a dosis más bajas. Al mismo tiempo, es mayormente transparente a los rayos UV-A, la luz ultravioleta más amigable para la vida.

Pero lo realmente sorprendente de la capa de O_3 es que funciona en perfecta sincronía con N_2 y O_2, formando un equilibrio $O_3 + O \rightleftharpoons O_3$ perfectamente equilibrado mediado por la radiación UV-C y UV-E. La capa de O_3 también parece contener exactamente la concentración a la altitud correcta para bloquear la radiación UV-C y el exceso de radiación UV-B, mientras que permite que la UV-A y una cantidad útil de UV-B pasen a través.

La O_3 también se produce en una capa cerca de la superficie de la Tierra, pero como explica la Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU., Creamos ese ozono a través de "reacciones químicas industriales de óxidos de nitrógeno (NO_x) con compuestos orgánicos volátiles (COV) en presencia de la luz solar. ", Lo que lleva al smog urbano. Las principales fuentes de NO_x y VOC son las emisiones de los servicios eléctricos e instalaciones industriales, los gases de escape de los vehículos, los vapores de gasolina y los solventes químicos. O_3 es perjudicial para nuestros pulmones y daña los cultivos, los árboles y la vegetación en general. [13]

El problema sería mucho peor si no fuera por el hecho de que O_3 es una molécula bastante reactiva en la atmósfera inferior, evitando que se acumule a niveles que resultarían mucho más peligrosos. Y también, afortunadamente, es de larga duración en la estratosfera diluida (y más fría) donde reside la capa de O_3. El O_3 formado naturalmente, más de nueve millas por encima de nosotros, nos protege en lugar de dañarnos, gracias a su posicionamiento preciso.

El ozono se crea allí cuando la parte más dañina y energética de la luz UV-C incide en O_2. También es sorprendente descubrir que UV-C transporta toda la energía necesaria para dividir la molécula O = O estrechamente unida covalentemente en dos átomos de O. Este oxígeno atómico altamente reactivo luego se combina con O_2 molecular para producir

O_3. Esto significa que el O blocks bloquea químicamente la radiación dañina (UV-C) y al mismo tiempo crea un O_3 beneficioso a través de un átomo de oxígeno muy reactivo. Esto forma la capa protectora de O que filtra el exceso de UV-B dañino. Pero recuerda que el O_3 es en sí mismo perjudicial para la vida, por lo que es bueno que estas reacciones ocurran en lo alto del cielo.

Toda esta intrincada cascada de reacciones inducidas por la radiación parece haber requerido una planificación cuidadosa para que todo funcione correctamente (densidades de gases, presiones de aire, temperaturas y reactividad) para limitar esta molécula de O_3 biológicamente dañina, picante y más pesada que el aire a la derecha La altitud y la cantidad adecuada en nuestro ambiente.

Permítanme explicar con más detalle cómo funciona todo el proceso y preserva la vida en la Tierra. O_2 necesita mucho O_3 como su compañero de ala. La O_2 bloquea la mayoría de los rayos UV-C, pero deja pasar la mayoría de los rayos UV-B, demasiado para la vida en el suelo. UV-B se escapa del primer defensor O_2 pero es atrapado por el segundo, O_3. Cuando UV-B alcanza O_3 en la capa de ozono, se absorbe principalmente, dividiendo O_3 en O_2 y O. Por lo tanto, el exceso de radiación UV-B se elimina al tiempo que se convierte O_3 en O_2, lo que alimenta a O_2 + O 3 O_3 equilibrio que se conoce como el ciclo de ozono-oxígeno.

Para repasar, esta vez con números: el UV-C más dañino primero es bloqueado por O_2, específicamente, la porción con una longitud de onda de 100 a 200 nanómetros. Cualquier UV-C que quede de O_2 está bloqueado por la capa de O_3 (el UV-C con una longitud de onda de 200–280 nm), por lo que el UV-C no llega al suelo. La porción más corta de la banda de UV-C se usa luego para romper O_2 a O, formando O_3, que bloquea la mayoría de los UV-B que causan quemaduras solares (el UV-B de 280–315 nanómetros en longitud de onda). El UV-A amigable (315–400 nm) es casi transparente tanto para O_2 como para O_3, y gran parte de esta luz menos dañina, en su mayoría beneficiosa, llega al suelo. El N_2 atmosférico también forma parte del intrincado ciclo de bloqueo-filtrado, ya que N_2 bloquea los UV-E más dañinos (de longitud de onda de 10–100 nanómetros).

Y recuerde, aunque la capa de ozono filtra la mayor parte del UV-B, una parte beneficiosa de sus longitudes de onda más largas es transparente a O_3, que llega a la superficie, que nuestros cuerpos utilizan para producir vitamina D.

Por lo tanto, una intrincada interacción de diferentes propiedades de absorción de UV y reacción de UV de tres gases (O_2, O_3 y N_2) en nuestra atmósfera protege la vida. Si la capa de O_3 (más O_2 más N_2) no estuviera allí, la sobreexposición a las radiaciones UV amenazaría gravemente la vida bajo el sol. La productividad de los cultivos se reduciría significativamente, y los humanos experimentarán sistemas inmunológicos reprimidos, ceguera y una pandemia de cáncer de piel. [14]

Rayo: Sorprendentemente importante

Tanto N_2 (N ≡ N) como O_2 (O = O) conectan todos sus electrones solitarios, lo que significa que no están disponibles para las reacciones. Esto significa que, naturalmente, no se produciría una reacción entre N ≡ N y O = O. Esta falta de reactividad es una propiedad esencial de nuestra atmósfera estable. Pero necesitamos NO, y luego NO_2, para actuar en el suelo de la Tierra como los ingredientes clave para los nitratos (NO_3^-) y los nitritos (NO_2^-). Y este consumo de N_2 tenía que suceder mientras se conservaba la atmósfera, por lo que el reciclaje de los ciclos de N_2 y O_2 debía realizarse de inmediato. ¿Cómo resolver esta paradoja química de la necesidad de estabilidad química y reactividad eventual? La solución: el rayo. [15]

El rayo es un espectacular espectáculo pirotécnico de luz y sonido y siempre ha fascinado a los hombres. Es tan inspirador que los humanos a lo largo de la historia hayan asociado el relámpago con la ira de los dioses. Los rayos son causados por flujos repentinos de carga eléctrica entre nubes cargadas o entre el suelo y una nube cargada. Los rayos en la Tierra ocurren aproximadamente entre cincuenta y cien veces por segundo en promedio, más de mil millones al año. [16]

Los científicos aún debaten los mecanismos exactos de los rayos, pero en general creen que el agua se congela en las nubes a temperaturas que oscilan entre 5 ° F y -13 ° F, formando cristales de hielo que chocan con gotas de agua. En el proceso, los cristales de hielo se cargan positivamente, y la mezcla de hielo y agua sobreenfriada se cargan negativamente. Los cristales de hielo cargados positivamente y más ligeros tienden a acumularse cerca de la parte superior de las nubes, y la mezcla de hielo y agua más pesada y cargada negativamente, cerca del fondo. Cuando la nube cargada pasa sobre la Tierra, induce una carga opuesta en la Tierra que está debajo y se forma un condensador natural. Finalmente, se produce una descarga de nube a nube o de nube a tierra a través de la mezcla N_2 más O_2 que forma nuestra atmósfera. [17]

De esta manera, el rayo proporciona suficiente energía para romper el N triplemente unido (y por tanto difícil de romper) ≡ molécula de N para formar átomos de nitrógeno individuales, altamente reactivos. Las moléculas de nitrógeno casi inertes se convierten así en átomos de nitrógeno reactivos en nuestra troposfera. [18] Los átomos de nitrógeno nacientes reaccionan con O = O para formar NO + O, y el NO a su vez se oxida rápidamente a NO_2. Se ha estimado que un relámpago produce aproximadamente 4×10^{26} moléculas de NO_x (NO más NO_2), o aproximadamente cuarenta kilogramos.

A continuación, todos los iones atmosféricos principales, N^+, N_2^+, O^+, O_2^+ y NO_2^+, transfieren rápidamente la carga a NO para producir NO^+, por lo que el producto final de Lightning es NO^+. [19] Las nubes de trueno contienen enormes cantidades de energía eléctrica, suficiente para vencer la alta energía de activación para las reacciones N_2 + O_2 que producen NO y luego NO_2 y sobre los aniones NO_2^- y NO_3^- en el suelo.

Este ciclo que los rayos ayudan a conducir no solo es útil. Como explican David Fowler y sus colegas, "El ciclo global del nitrógeno es fundamental para la biogeoquímica de la

Tierra, con grandes flujos naturales de nitrógeno de la atmósfera a los ecosistemas terrestres y marinos a través de la fijación biológica de nitrógeno" y de regreso a la atmósfera. [20] Fijación biológica de nitrógeno (BNF) y rayos, que reducen el N_2 molecular no reactivo en NH_3, NO_2 ´ y NO_3 ´y luego a las sustancias químicas que contienen N, proporcionan formas de nitrógeno fijo que, nuevamente, como explican Fowler y sus colegas, se "transforman posteriormente en una amplia gama de aminoácidos y compuestos oxidados por microorganismos, y finalmente se devuelven a la atmósfera como nitrógeno molecular a través de la desnitrificación microbiana en suelos, aguas frescas y marinas y sedimentos ". Y, como lo explican, la emisión de NO a raíz de la desnitrificación" juega un papel clave en el equilibrio radiativo de la Tierra y en la química de la capa de ozono en la estratosfera, donde el NolO es destruido por la fotólisis, " [21] [es] un proceso químico que rompe las moléculas en unidades más pequeñas a través de la absorción de luz.

La fijación biológica de nitrógeno y la producción de NO_x por rayos son la solución a las fuentes de nitrógeno reactivo nuevo en nuestra biosfera. Un suministro constante de nitrógeno reactivo es crucial no solo para la agricultura sino para todas las formas de vida. Aunque se cree que la cantidad de nitrógeno reactivo de los rayos es más de un orden de magnitud menor que la de la fijación biológica de nitrógeno en la actualidad, los rayos son un factor clave en el ciclo del nitrógeno y son importantes para formar ozono y mantener la capacidad de oxidación de la atmósfera. . [22] Sin rayos para hacer NO a partir de la reacción de N_2 con O_2, no habría vida.

Y tenga en cuenta que las nubes, las propiedades intrincadas de las fases cambiantes y la separación de la carga de los cristales de hielo son el resultado de las fuerzas químicas fuertes que mantienen unidas a las moléculas de H ,O, es decir, su polaridad y sus propiedades únicas de unión al H. En otras palabras, necesitamos rayos y nubes acuosas cargadas con miles de millones de kilovatios en energía eléctrica o, de nuevo, no vida.

¿Es ciencia?

Entonces, vemos que la Tierra y las leyes y constantes de la física y la química tuvieron que ajustarse de muchas maneras para hacer la vida posible, habiendo ocurrido gran parte de los ajustes antes de que la vida llegara a la escena. Antes de que todos los pequeños detalles de la bioquímica pudieran ser planeados para nuestras vidas, la química y las constantes universales tenían que ser ajustadas. Esta dimensión de ajuste fino sugiere que la previsión desempeñó un papel en la trama misma del universo.

Para neutralizar las implicaciones de diseño de toda esta aparente previsión en el trabajo, algunos han recurrido a afirmar que existen innumerables otros universos por ahí, todos inobservables, y se nos ocurrió que obtuvimos la configuración correcta, mientras que la mayoría de los otros universos en el multiverso no fueron tan suerte. [23] Las diversas propuestas multiverso para explicar el ajuste fino tienen problemas importantes. [24]Una discusión detallada de los mismos nos llevaría más allá del alcance de este libro, pero incluso

acortando esas preocupaciones, está lo siguiente: el multiverso no explica una larga y creciente lista de cosas en biología que parecen haber requerido aportes creativos en el planeta Tierra. Después del origen de nuestro universo. Es decir, el exquisito ajuste fino en física y química que se ha descubierto en las últimas décadas es una condición necesaria pero no suficiente para la vida biológica. También se requerían otras formas posteriores de ajuste fino. [25]

Toda esta buena sintonía, tomada en conjunto, sugiere no solo una previsión, sino una asombrosa e ingeniosa previsión. Y cuanto más aprendemos sobre este tema, más convincente se vuelve la evidencia de la previsión.

Sin embargo, cada vez que se hace este argumento, siempre surge una queja: si la previsión estuvo involucrada en el ajuste fino del cosmos, entonces debe haber sido la previsión de un ser sobrenatural, uno que trasciende el cosmos y sus leyes; Por lo tanto, cualquier conclusión de la previsión no cuenta como ciencia.

Esta queja plantea una pregunta fundamental: ¿Cómo *se* define adecuadamente la ciencia?

Contrariamente a la percepción popular, la ciencia es una actividad humana diversa y hay muchos métodos científicos diferentes. [26] Existe una superposición, por supuesto, pero también hay algunos distintivos importantes. Por ejemplo, la ciencia de laboratorio o de banco, centrada en cómo funcionan las cosas ahora, emplea una metodología. Pero las ciencias históricas, incluida la ciencia de los orígenes, se basan en los métodos de la ciencia de referencia, pero también en otros, ya que la ciencia de los orígenes busca descubrir la causa de los acontecimientos en el pasado, eventos por lo tanto no observables en la forma en que uno podría, por ejemplo, observar cosas. En biología molecular utilizando microscopios avanzados.

Por supuesto, también hay diferencias en la metodología incluso entre las ciencias experimentales, como por ejemplo, entre la ecología y la física. En consecuencia, la ciencia ha sido definida por los científicos y las sociedades científicas en muchos aspectos que se superponen, pero también, a veces, en competencia. Por ejemplo, la Junta de Educación de Kansas definió la ciencia como un esfuerzo humano destinado a explicar el mundo natural, aunque agregaron una restricción radical: solo puede apelar a las fuerzas naturales: "la ciencia se limita a explicar solo el mundo natural, usando solo recursos naturales". porque. Esto se debe a que la ciencia actualmente no tiene herramientas para probar explicaciones utilizando causas no naturales (como las sobrenaturales). " [27]

Contestaría la afirmación de que la ciencia de los orígenes no tiene medios para probar explicaciones que apunten a causas inteligentes, sobrenaturales o de otro tipo. También hay esta objeción: si la definición anterior fuera *la* definición correcta de ciencia, solo se permitiría una cosmovisión en la ciencia: el naturalismo. Y esa restricción sesgada significaría que el ajuste fino y todas las demás pruebas de previsión aparente en la naturaleza deben ignorarse o explicarse, por ejemplo, apelando a ideas extravagantes, como

un multiverso. Pero tal restricción traiciona una visión empobrecida de la ciencia que excluye la evidencia solo porque no coincide con una conclusión deseada.

Debe haber una definición mejor y más general para la ciencia. Y de hecho hay: la *ciencia es una búsqueda sistemática e imparcial de conocimiento sobre la naturaleza* . Bajo esta definición, somos libres de pensar, investigar, dudar y concluir en base a cualquier evidencia que tengamos. Los principios subyacentes de la ciencia son la libertad de pensamiento y expresión, guiados por datos recopilados utilizando métodos sistemáticos. Si la ciencia-la búsqueda de verdades absoluta [28] escondido dentro de la naturaleza-se ha de considerar una verdad resueltamente dirigida esfuerzo, la razón y la evidencia debe ser el único límite.

Con esta comprensión en su lugar, queda claro que la investigación de posibles pruebas para el ajuste fino, la previsión y el diseño inteligente son proyectos científicos válidos. Los debates honestos y el diálogo entre las personas involucradas en una búsqueda científica gratuita de conocimiento es la fuerza motriz de la ciencia. Debemos seguir la evidencia sin importar quién la encuentre y sin importar cuál sea la motivación de la persona que realizó la búsqueda, y sin importar qué nos diga sobre la realidad. Esa es la única ciencia que vale la pena hacer.

Con este entendimiento general, en el próximo capítulo volveremos a nuestra investigación de la bioquímica, sin restricciones por ninguna regla de solicitud de preguntas. Como buenos detectives, seguiremos el rastro de pistas, negándonos a descartar opciones en vivo de manera prematura, guiados solo por la razón y la evidencia acumulada.

3. EL CÓDIGO DE LA VIDA

Ahora que tenemos un claro entendimiento de cómo se necesitaba la previsión para hacer posible la bioquímica, volvamos a la célula.

La célula tiene su propio sistema sofisticado de procesamiento de información, muy parecido a una computadora. Los programas de computadora requieren programadores, agentes conscientes con conocimiento y previsión que puedan codificar las instrucciones necesarias, en la secuencia correcta, para generar un programa funcional y rico en información. ¿Hay alguna razón para pensar que la información en las celdas también fue programada por un programador en lugar de por procesos aleatorios? Vamos a sumergirnos en los detalles y considerar nuestras opciones.

Previsión en el ADN

La información genética de la célula es una característica fundamental y más antigua de la vida. [1] Es esencial para la forma en que todos los seres vivos en la Tierra se forman, se mueven y se reproducen. Sin él, ningún organismo celular produciría las biomoléculas esenciales para la vida.

Si la materia se convirtió en células vivas a través de procesos puramente ciegos, como sostiene la teoría de la evolución, entonces esta información de alguna manera se generó a partir de la materia y la energía, a través de procesos naturales no guiados. Los teóricos del origen de la vida comprometidos con una explicación puramente naturalista de la vida, por lo tanto, deben explicar cómo tanto esta información genética como el sistema de procesamiento de información de la célula aparecieron prácticamente todos a la vez, ya que tales cosas, por su propia naturaleza, funcionan en sinergia directa y, por lo tanto, no pueden Evolucionar poco a poco.

Esta imposibilidad no debería sorprender, ya que la información genética y el código genético juntos incluyen características como la lógica semántica y el ordenamiento significativo de los caracteres, cosas que no están dictadas por ninguna ley física o química.

La secuencia del genoma de una célula es esencialmente un sistema operativo, el código que especifica las diversas funciones genéticas de la célula, que afectan a todo, desde la química y estructura celular a la maquinaria de replicación y el tiempo. Debido a que ciertas funciones son compartidas por todas las formas de vida, todos los genomas son similares en gran medida. Por ejemplo, todos los mamíferos comparten más del 90% de sus genomas. [2] Se ha estimado que incluso las formas de vida tan distintivas como los humanos

y los plátanos comparten el 60% de su información genética. [3] Las partes únicas son instrucciones específicas para las diferentes necesidades de diferentes géneros y especies.

Debido a que es tan crucial para la vida en la Tierra, la información genética tuvo que ser transmitida y almacenada de una manera tan compacta, eficiente y libre de errores como sea posible. Esta necesidad presenta una serie de problemas que debían resolverse e implementarse virtualmente de manera simultánea, de modo que las moléculas capaces de almacenar y transmitir información genética estuvieran listas para comenzar en el primer organismo.

El ADN (ácido desoxirribonucleico) se compone de tres clases de sustancias químicas. Uno es el anión fosfato PO phosph $^{3-}$, con sus cuatro átomos de oxígeno distribuidos en forma tetraédrica alrededor del átomo de fósforo, produciendo una carga triple negativa. Otra es la molécula de azúcar cíclica de cinco miembros, la ribosa, con cuatro sitios de enlace OH disponibles. (El ADN utiliza una forma especial de ribosa llamada desoxirribosa. La desoxirribosa tiene un OH reemplazado con una H. Discutiremos las diferencias entre la ribosa y la desoxirribosa en un momento, y su importancia, pero por ahora hablaré solo en términos de ribosa). La tercera clase de sustancias químicas comprende cuatro tipos diferentes de bases estables, rígidas y heterocíclicas, dos purinas y dos pirimidinas, cada una con la capacidad de adherirse firmemente a la ribosa mediante enlaces covalentes y entre sí mediante dos o tres enlaces supramoleculares con enlace H brazos.

Los archivos adjuntos forman "ribonucleótidos" de ribosa más base que resultan ideales para transmitir información. ¿Porqué es eso? Vamos a llevarlo por etapas. Algo de lo que sigue en este capítulo se vuelve bastante técnico, pero he organizado las cosas de modo que si quiere saltar hacia adelante, puede obtener la esencia de los argumentos leyendo el primer párrafo o dos de cada subsección, el último par de párrafos. de cada subsección, y la subsección concluyente del capítulo. También hay varias ilustraciones útiles en el camino.

El anión fosfato

Si va a ser viable, el almacén de información genética a largo plazo de la vida no puede descomponerse en presencia de agua. El problema de la hidrólisis, en otras palabras, debe resolverse por adelantado o el almacén de información de la vida se disolvería tan rápidamente como un castillo de arena golpeado por la marea entrante. Cómo el ADN se enfrenta a este desafío es una maravilla de la finura de la ingeniería.

El ADN es lo que se conoce como un éster polimérico, compuesto por un cable de fosfato muy largo (PO_4^{3-}), que se extiende cerca de dos metros en humanos, entremezclado con ribonucleótidos. Esta arquitectura molecular es perfectamente adecuada para el ADN, como verás.

La estructura química 3-D de PO $ $_4$ $ $^{3-}$, con cuatro átomos de O de terminales y tres cargas netas, le permite unirse a dos ribonucleótidos (usando dos de estos O $^-$ átomos)

mientras uno de los O adicional ⁻ permanece cargado único. Si "R" representa un ribonucleótido, esto puede escribirse como (R [1] O) (R [2] O) P (= O) -O ⁻ .

Esta carga negativa restante al final está en resonancia con dos átomos de oxígeno. Esa resonancia de carga es esencial, ya que estabiliza la molécula de ADN contra la reacción con agua (hidrólisis) formando un escudo eléctrico alrededor de toda la doble hélice. Este campo eléctrico abarcador también contiene ADN dentro del núcleo celular, lo que evita que el precioso ADN se escape a través de la permeación de la membrana. Estas propiedades hacen que PO_4 [3 sea] el enlace perfecto para construir una macromolécula de ADN estable, unida a los azúcares y bases correctos, bien protegida contra la hidrólisis y perfectamente encapsulada dentro de la membrana nuclear. [4] Esta disposición molecular exquisitamente diseñada, que protege el ADN, tenía que estar presente para que cualquier célula pueda vivir. Es hacer o deshacer

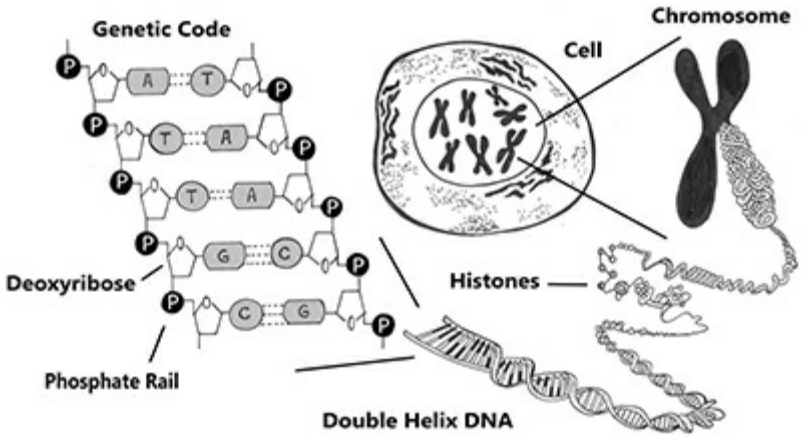

Figura 3.1. La molécula de ADN tiene la forma de una escalera retorcida, una doble hélice. Los rieles laterales de fosfato están en el exterior y los "peldaños" de la escalera son los cuatro nucleótidos (A, T, C, G) que llevan información codificada. Las histonas sirven como carretes para empaquetar el ADN en la cromatina, la materia de la cual se hacen los cromosomas.

Para que el ADN funcione correctamente, se tuvo que resolver otro problema. El PO_4 [3] inorgánico es el enlace perfecto para el ADN, pero como enlace para la molécula polimérica larga, su reacción con la desoxirribosa es demasiado lenta. Por lo tanto, la célula necesitaba un catalizador adecuado para acelerar esta reacción lenta pero crucial. Las enzimas, biomoléculas grandes y exquisitamente diseñadas, cumplen esta tarea al acelerar la formación de dichos enlaces en muchos órdenes de magnitud. Hacer enzimas es otro proceso increíble que discutiremos más adelante. Habrían sido necesarios desde el principio para hacer ADN. Sin embargo, ellos mismos deben hacerse utilizando la secuencia de ADN para la que "nacieron".

Así que tenemos dos soluciones ingeniosas para los desafíos de vida o muerte: una maravilla de la ingeniería, un escudo eléctrico, que protege el ADN de la descomposición en

presencia de agua; y otra maravilla de ingeniería, las enzimas, que acelera una reacción crucial que de otra manera sería demasiado lenta. Y estas dos soluciones ingeniosas no podrían venir una detrás de la otra, porque la secuencia de ADN es necesaria para fabricar la enzima, mientras que la enzima es necesaria para fabricar el ADN. Tanto el ADN polimérico, con sus múltiples enlaces fosfato-azúcar y su cinética muy lenta, como las enzimas adecuadas para acelerar la formación de los enlaces ADN fosfato-azúcar, deben estar en su lugar al mismo tiempo. Si solo una existe sin la otra, ninguna célula en absoluto.

Ribosa

Se necesitaba un poco más de ingenio para mejorar la estabilidad del ADN. Cuando se forma el alambre de fosfato, PO_4^{3-} debe poder reaccionar con la ribosa en cualquiera de sus cuatro grupos OH que se extienden desde la molécula de azúcar; pero la naturaleza intrínseca de los enlaces fosfodiéster encontrados en el ADN hace uso exclusivo de los grupos 5'-3 'OH. (Como indican las moléculas de ribosa en la Figura 3.2 , los bioquímicos numeran los átomos de carbono en ellas. La columna vertebral de fosfato del ADN une el carbono 5 'en un azúcar al carbono 3' en el siguiente). Resulta que este 5'-3 La selectividad en la unión de OH aumenta la estabilidad del ADN en comparación con los enlaces 5'-2 '. [5]En el ADN, el grupo 2 'OH se reemplaza por H, y no está disponible para la unión, y por una buena razón. Este cambio evita la hidrólisis del ADN, que es esencial para cualquier molécula utilizada para el almacenamiento de información a largo plazo.

Un artículo reciente amplió los criterios de selección:

> La razón por la que la naturaleza realmente eligió el fosfato se debe a la interacción entre dos efectos contrarrestantes: por un lado, los fosfatos están cargados negativamente y la repulsión de carga y carga resultante con el nucleófilo atacante contribuye a la barrera muy alta para la hidrólisis, haciendo que los ésteres de fosfato entre los la mayoría de los compuestos inertes conocidos ... [Pero] la misma repulsión de carga y carga que hace que la hidrólisis del éster de fosfato sea tan desfavorable también hace posible regular, explotando la electrostática. Esto significa que la hidrólisis del éster de fosfato no solo puede activarse, sino también desactivarse, ajustando el ambiente electrostático ... Esto hace que los ésteres de fosfato sean los compuestos ideales para facilitar la vida tal como la conocemos. [6]

Por lo tanto, solo los fosfatos tienen la capacidad dual necesaria para hacer que el ADN funcione.

Los investigadores han construido análogos de ADN utilizando azúcares junto a la ribosa y han medido sus propiedades. Entonces, ¿era la ribosa, esta muy específica azúcar cíclica de cinco miembros, solo una buena opción entre muchas? Parece que no. [7] La molécula final tenía que ser estable y capaz de llevar el código de la vida. Para estos trabajos, solo la ribosa servirá. Los análogos de ADN que utilizan otros azúcares no son moléculas de

almacenamiento de información adecuadas. Algunos ADN hechos de los otros azúcares no forman hélices dobles estables, o sus interacciones intermoleculares son demasiado fuertes o demasiado débiles, o sus asociaciones son insuficientemente selectivas. Otros análogos de ADN adoptan varias conformaciones que podrían impedir que la maquinaria celular los replique. Efectivamente, la ribosa era la única opción que funcionaría.

Darwin sugirió que la vida surgió por casualidad en un "pequeño y cálido estanque". En otras palabras, un accidente formó una molécula de almacenamiento de información magistral equipada con el único azúcar que podría hacer que funcionara. Pero a juzgar por la gran cantidad de moléculas que contienen dos grupos OH que podrían imitarlo, la tarea de hacer, encontrar y seleccionar específicamente este azúcar particular y esencial para la vida al azar en la "sopa primordial" sería tremendamente improbable. [8]

La ribosa también es ideal para formar una estructura molecular 3-D. Es cierto que no es el único azúcar que permite que el ADN forme una doble hélice estable, pero es el mejor de todos. El espacio interior resultante dentro de la doble hélice es de aproximadamente 25 Å, y esta distancia es simplemente perfecta para una base de nitrógeno monocíclico (T o C) y una base bicíclica (A o G). Este espacio perfecto permite la formación de pares de bases, en los cuales (como veremos más adelante) los pares A con los pares T y C con G, formando un criterio selectivo crucial del código genético. Si se utilizara cualquier otro azúcar que no sea ribosa, esa distancia sería demasiado ancha o demasiado estrecha.

Las cuatro bases del ADN

Otra pregunta crucial: ¿Por qué la vida “eligió” el cuarteto ATGC de N bases muy específico? Otra indicación de la planificación involucrada en la arquitectura química del ADN surge de la elección de un alfabeto de cuatro caracteres utilizado para codificar unidades de tres caracteres de longitud. ¿Por qué no más caracteres alfabéticos, o unidades más largas? Algunos de mis colegas científicos están trabajando precisamente en tales Frankensteins genéticos. Es un trabajo fascinante. Pero el ADN debe ser lo más económico posible, y para que el ADN dure, debe ser altamente estable químicamente. Y estas cuatro bases son exactamente lo que se necesita. Son altamente estables y se pueden unir a la ribosa a través de fuertes enlaces NO covalentes que son muy seguros. Cada base de estos "Cuatro Fantásticos" puede establecer combinaciones perfectas con reconocimiento molecular preciso a través de enlaces H supramoleculares. Los miembros de la G ≡El par C se alinea con precisión para establecer tres enlaces de hidrógeno supramoleculares fuertes. El par A = T se alinea para formar dos enlaces de hidrógeno. A y G no funcionan, y tampoco C y T, o C y A, o G y T. Solo G ≡ C y A = T funcionan.

Pero, ¿por qué no vemos emparejamientos de G ≡ G, C ≡ C, A = A o T = T? Después de todo, estos pares también podrían formar dos o tres enlaces de hidrógeno. La razón es que el espacio de 25 Å entre las dos cadenas de la doble hélice no puede acomodar el

emparejamiento entre las dos bases grandes (bicíclicas) A y G, y las dos bases pequeñas (monocíclicas) T y C estarían demasiado separadas para formar hidrógeno cautiverio. [9]

Se necesita una doble hélice estable formada por el alambre polimérico de fosfato-ribosa perfecto, con un espacio interno adecuado para acomodar los acoplamientos A = T o G ≡ C con dos o tres enlaces H para codificar la vida útil. Y afortunadamente, eso es precisamente lo que tenemos.

Ribosa para ARN y desoxirribosa para ADN

Hay un ejemplo aún más sorprendente de problemas potenciales en la estructura del ADN que se tuvieron que resolver por adelantado. El ADN debe ser altamente estable, mientras que el ARN, como el intermedio temporal entre el ADN y la proteína (como veremos más adelante), debe ser dramáticamente menos estable. El ARN usa la molécula de azúcar ribosa intacta para hacer su alambre polimérico, mientras que el ADN usa una versión desoxigenada de la misma: la desoxirribosa. Dado que un grupo OH ha sido reemplazado por una H en una posición 2 'aparentemente "químicamente silenciosa" en el anillo de ribosa, a primera vista parece extraño observar tal atención por un detalle molecular aparentemente trivial. Pero resulta que hay una razón crucial para la vida de este increíble truco químico.

La elección de D-ribosa para m-ARN y D-desoxirribosa para ADN aumenta la estabilidad química del ADN al tiempo que disminuye la del ARN en un medio alcalino. Ambos son por una razón.

Si el ADN nuclear es el disco duro de la vida, el almacenamiento de información a largo plazo, el ARN mensajero (m-ARN) es la unidad flash de la vida, que transmite información durante cortos períodos de tiempo. Por lo tanto, la vida del ARN tenía que ser corta, de lo contrario la producción de proteínas nunca se detendría. La vida necesitaba una forma de "digerir" rápidamente a través de la hidrólisis e idealmente reciclar los componentes del ARN cuando se termina su trabajo. Cuando los químicos analizaron este "misterioso" intercambio de OH / H, descubrieron que el aparentemente "silencioso" grupo 2'-OH ayuda a que el ARN se hidrolice unas cien veces más rápido que el ADN. [10]Así que vemos que la ribosa tenía que usarse en el ARN para una fácil digestión en un medio alcalino, y la desoxirribosa en el ADN para una mayor longevidad. De lo contrario, la vida sería imposible. De nuevo, según todas las apariencias, este control de estabilidad tanto para el ADN como para el ARN tenía que anticiparse con anticipación y la solución se proporcionaba con una entrega justo a tiempo.

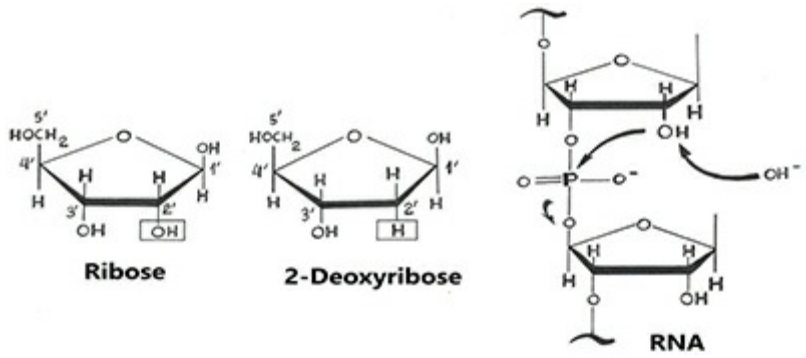

Figura 3.2. Las estructuras químicas de la ribosa y la 2-desoxirribosa, y dos moléculas de ribosa unidas para formar ARN. La naturaleza del enlace entre dos moléculas de ribosa (a diferencia de dos moléculas de desoxirribosa) disminuye la vida útil del ARN, que en realidad es crucial para el sistema de procesamiento de información de la vida.

Homoquiralidad y el intercambio U-to-T

Hay otras soluciones sorprendentes dentro del ADN y el ARN. Al igual que muchas otras moléculas orgánicas, la ribosa puede venir en forma diestra (D) o zurda (L), y un conjunto aleatorio de la materia tendría una mezcla aproximadamente igual de las dos, lo que se conoce como racémica mezcla. Pero una mezcla racémica de D-ribosa y L-ribosa sería biológicamente desastrosa, haciendo imposible la correcta coherencia 3D de la doble hélice. Tanto el ADN como el ARN necesitan todas las formas D o todas las formas L, no una mezcla.

Así que aquí está el misterio: ¿Cómo podrían las fuerzas químicas puramente ciegas haber logrado esta desafiante selección 3-D? Al comentar sobre el rompecabezas, Philip Ball, un escritor científico y editor de la revista *Nature* , reconoció una vez: "En el 60 aniversario de la doble hélice, debemos admitir que no comprendemos completamente cómo funciona la evolución a nivel molecular. " [11] Eso es ponerlo suavemente.

Hay otra diferencia crucial entre el ARN y el ADN. Donde el ADN usa timina (T) como una de sus bases, el ARN usa uracilo (U). Este intercambio de U a T es intrigante porque las estructuras químicas de T y U son casi idénticas, y se distinguen solo por un solo grupo metilo pequeño (CH_3). Como señalaron los editores de *NSTA WebNews Digest* , la conversión de uracilo en timina requiere energía, ¿por qué las células se molestan en metilar el uracilo en timina para el ADN? [12] Además, el grupo adicional se coloca en lo que parece ser una posición bastante inerte en el anillo T. Parece, por lo tanto, que un grupo CH rather tan pequeño e inerte está ahí solo para "diferenciar" U y T mientras que altera las propiedades químicas lo menos posible. Se han ofrecido una serie de explicaciones evolutivas para este intercambio de U a T,[13] pero resulta que este intercambio mantiene la integridad de todo el sistema de almacenamiento de información, por lo que se habría necesitado una forma completamente evolucionada desde el principio.

Como vimos anteriormente, las cuatro bases de ARN (A, U, G y C) son excelentes para el trabajo que tienen, pero también causan un problema si se usan en el contexto incorrecto. El intercambio de U a T es la solución. El cuarteto original está bien para un ARN menos estable, pero no es la mejor opción para un ADN de larga duración.

La base U aún establecería un emparejamiento preferencial con A, pero el par A = U no es ideal para el papel que cumple el ADN, ya que U también puede coincidir de manera eficiente con todas las otras bases, incluida la propia. La T del ADN, por otro lado, es mucho más selectiva que la U en su emparejamiento con la adenina (A), formando un par A = T más estable. Esta especificidad tiene sentido cuando recuerdas que el ADN, que está compuesto de ácidos nucleicos, aniones de fosfato y moléculas de azúcar, es muy hidrofílico (que ama el agua). Como explica Michael Onken, la adición de un grupo CH_3 hidrófobo a U (formando así T) hace que T repele el resto del ADN. Esto, a su vez, desplaza T a una ubicación específica en la hélice. Este posicionamiento perfecto hace que T se enlace exclusivamente con A, lo que hace que el ADN sea un sistema de replicación de información mejor y más preciso. [14]Esto garantiza la integridad duradera de la información del ADN. [15]

Así que vemos que los principios de diseño más fundamentales de la hélice de ADN están cuidadosamente sintonizados para que el código funcione correctamente, desde el número de enlaces H entre las interacciones A = T y G ≡ C, hasta el ajuste exacto de las moléculas entre las Dos hilos que forman la doble hélice.

Otra Enzima Wunderkind al Rescate

Pero hay al menos otro problema potencial que podría arruinar la lógica elegante del código genético de la vida. La citosina (C) no es tan estable como las otras bases y, a medida que pasa el tiempo, se degrada por la desaminación. Cuando se degrada, ¿de qué forma? La base en u. Esta degradación, por supuesto, corrompería la información al crear U extrañas que no deberían estar allí. El ARN, debido a que se usa y recicla rápidamente dentro de la célula, es inmune a este problema de envejecimiento. Pero el ADN, con su vida útil mucho más larga, no puede usar U. Sin el intercambio de U a T, así como la reparación de U a C, esta degeneración de C en U sería catastrófica para la vida.

Es debido a esta degradación de C a U que el ADN tuvo que encontrar un reemplazo para U. La degradación de C en U extraña sería desastrosa si se quedara en el ADN. La U extraterrestre debe volver a convertirse en C. Ingrese uracil DNA glycosylase, [16] una enzima reparadora específicamente equipada para corregir lo que de otro modo sería un error de software mortal. Esta enzima exquisita repara todas las U a las C's. Esta reparación funciona para corregir los errores C-to-U, pero imagina un "escenario evolutivo" en el que el sistema de reparación estaba funcionando pero el ADN usaba U en lugar de T. En él, la enzima de reparación, sin saber la diferencia, repararía catastróficamente todo vuelve a C, incluidas las bases que se suponía que eran U. Por lo tanto, tanto el intercambio de U a T como la

máquina de corrección de U a C son necesarios al mismo tiempo para preservar la información en el ADN.

Esta máquina de corrección escanea el ADN, detecta cada U extraña y la reemplaza con una C. La citosina se degrada en uracilo de mil a diez mil veces al día, y eso es en una sola célula. Pero nunca se adelanta a la uracil ADN glicosilasa, devolviendo el ADN a su secuencia original y adecuada. [17] La máquina de corrección U-to-C es una obra de puro genio.

El intercambio de U a T no es solo una buena ventaja, sino una función necesaria que se debe implementar desde el principio. (Si el ADN naciera usando UU, su U real se confundiría con la U extraña formada por el envejecimiento. La ADN glicosilasa, si estuviera presente accidentalmente, no serviría de nada, ya que reemplazaría a todas las U con una C, rápidamente corromper la información en el ADN.) Este increíble truco químico es una barrera insuperable para la evolución no guiada.

Tomemos, por ejemplo, una teoría popular sobre el origen de la vida: el mundo del ARN. En esta teoría, la vida comenzó con el ARN [18] , que en algún momento inventó el ADN y fue reemplazado por él. Pero suponiendo que este proto-ADN fue hecho por las mismas bases de ARN (y azúcar), utilizando U (y ribosa intacta), se hidrolizaría demasiado rápido y la degradación de C a U corrompería el ADN. Incluso si por algún golpe milagroso de buena fortuna ocurriera el intercambio de U a T, el ADN del recién nacido creado por el ARN carecería del mecanismo de reparación enzimática para convertir cada U extraterrestre en C, matando rápidamente la vida incipiente.

No hay segunda generación. No hay selección natural. La construcción del ADN es un asunto de todo o nada.

En algún momento, a la evolución se le ha concedido un golpe improbable de buena suerte. Pero, ¿dos golpes simultáneos y sincronizados de buena fortuna? Eso parece un puente demasiado lejos. Y se necesitan múltiples golpes de buena fortuna al mismo tiempo: el anión PO_4^{3} , el azúcar adecuada (ribosa), las bases ATGC correctas, el intercambio de U a T, el intercambio de OH / H y una D-ribosa homociral.

Redundancia genetica

Además de referirse a las secuencias de ADN que contienen información para sintetizar proteínas completas, el término "código genético" también puede significar el conjunto de reglas que relacionan un aminoácido con un triplete de ADN específico (una combinación de tres nucleótidos llamada "codón").). El código genético en este segundo sentido presenta otro sello distintivo de la previsión y la ingeniería de sonido: la *redundancia* .

Esta redundancia es posible debido a la arquitectura básica del código genético, en la que cada una de las tres “letras” en un triplete de nucleótidos en secuencia puede ser cualquiera de cuatro caracteres alfabéticos diferentes, lo que da un total de 4 x 4 x 4 posibilidades: sesenta y cuatro en total . Pero hay sesenta y cuatro posibilidades y solo veinte

aminoácidos. Eso deja mucho margen para posibles despidos. En otras palabras, más de una combinación de tres letras podría codificar un aminoácido dado, y eso es lo que encontramos.

Esta "redundancia" se interpretó inicialmente como un artefacto ineficiente del proceso de prueba y error a veces desordenado de la evolución. Al principio, los científicos pensaron que solo se necesitaban veinte codones para los aminoácidos, más dos codones más para indicar el inicio y el final de la síntesis de proteínas (llamada "traducción"). Desde entonces, sin embargo, hemos descubierto que la redundancia es realmente vital. El exceso excesivo aparente minimiza los errores de lectura y transmisión para que el mismo aminoácido se transfiera a cada generación.

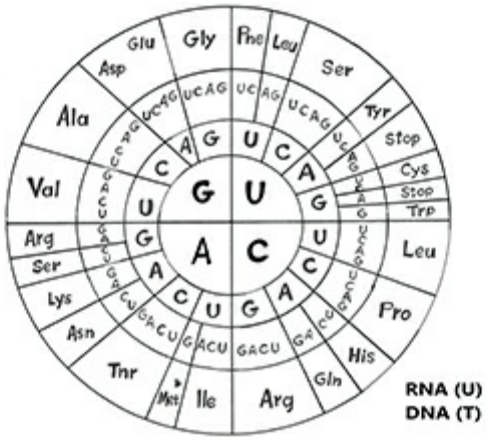

Figura 3.3. El código genético con su "redundancia" de sesenta y cuatro codones para veinte aminoácidos. El ARN usa uracilo (U) mientras que el ADN usa timina (T).

Pero si se inspeccionan cuidadosamente, las redundancias en sí mismas no parecen ser aleatorias, ya que implican principalmente cambios en la tercera letra de cada triplete. Por ejemplo, el aminoácido más simple, la glicina, tiene cuatro codones que lo especifican: GGA, GGC, GGG y GGT. La única posición que varía es la tercera, y cualquier nucleótido en esa posición seguirá especificando glicina. (Sin embargo, hay otros efectos biológicos posibles, por ejemplo, efectos en la velocidad de síntesis y plegamiento de proteínas. Consulte a continuación).

Los cambios en la primera y segunda letras son menos comunes y se compensan con la expresión de aminoácidos con propiedades químicamente similares y que no alteran significativamente la estructura y las propiedades de la proteína final. Por ejemplo, el codón CTT que codifica la leucina se convierte en la isoleucina químicamente similar cuando la C se reemplaza por A (ATT). Tales redundancias establecen un amortiguador químico entre los aminoácidos cuando ocurren errores comunes. Es decir, el código de la vida tiene salvaguardas integradas contra errores genéticos potencialmente dañinos.

Pero ese no es el único propósito de la redundancia en nuestro código genético. [19] El uso de diferentes codones para expresar un solo aminoácido también permite controlar la velocidad de la síntesis de proteínas. Por ejemplo, cuatro codones diferentes pueden especificar el mismo aminoácido, pero los cuatro difieren en sus efectos sobre la velocidad o la lentitud de la formación de un enlace y los pliegues de la proteína. [20] Este control cinético le da a cada proteína la cantidad exacta de tiempo que necesita para formar la forma tridimensional correcta.

Hay otros matices en nuestro código genético que parecen sugerir previsión, como la agrupación de codones para aminoácidos con cadenas laterales ácidas o alcalinas. [21] Por lo tanto, si los estímulos ambientales requieren el intercambio de un aminoácido (básico) alcalino por un aminoácido ácido en una proteína, este intercambio es ayudado por tal agrupación. Una vez más, ¡qué maravilloso truco químico! Por ejemplo, una lisina básica codificada por AAA o AAG se puede cambiar fácilmente al ácido glutámico ácido mediante una sola sustitución de una sola letra: GAA o GAG. Tener un código tan flexible ayuda al organismo a mantenerse vivo.

El código también anticipa y tiene salvaguardas contra las mutaciones de punto único más comunes. Por ejemplo, la leucina está codificada por no menos de seis codones. El codón CTT codifica la leucina, pero todas las variaciones de la mutación de la tercera letra (CTC, CTA y CTG) son "sinónimos" y también codifican la leucina.

Las mutaciones de primera letra son más raras y potencialmente más peligrosas porque cambian el aminoácido especificado: si C se intercambia por T, formando el codón TTT, se expresará un aminoácido diferente (fenilalanina). Pero incluso para esto, el código genético tiene una garantía: las propiedades químicas de la fenilalanina son similares a las de la leucina, por lo que la proteína aún conservará su forma y función. Si la primera letra C en CTT (leucina) se reemplaza por A o G, ocurre algo similar, ya que ATT (isoleucina) y GTT (valina) también tienen propiedades fisicoquímicas similares a la leucina.

El Premio Nobel de Química 2015 fue otorgado conjuntamente a Tomas Lindahl, Paul Modrich y Aziz Sancar "por haber cartografiado, a nivel molecular, cómo las células reparan el ADN dañado y salvaguardan la información genética". [22] El Premio 2016 fue para Jean-Pierre Sauvage, Sir J. Fraser Stoddart y Bernard L. Feringa "para el diseño y la síntesis de máquinas moleculares", incluido "un pequeño lifting, músculos artificiales y motores minúsculos". [23] Es decir, estos seis científicos descubrieron los mecanismos del ADN. Correcciones tipográficas y nanomáquinas producidas como las que reparan la degradación de C a U en el ADN. Desentrañar estos procesos hizo que seis de las mentes más brillantes en química, junto con un ejército de otros grupos de investigación, trabajaran durante décadas para sentar las bases de estos avances.

Este *recorrido de la fuerza* de la investigación y la sofisticación de la ingeniería merecían dos premios Nobel consecutivos. ¿Entonces debemos creer que las maravillas de la ingeniería que estos brillantes científicos descubrieron fueron producidas por un proceso sin

sentido? Si descubrir la función de estas maravillas de la ingeniería fuera genial, ¿cuánto más genio se necesitaría para crearlas?

El problema para la teoría de la evolución se ve agravado por el hecho de que la evolución solo funciona paso a paso. Entonces, ¿qué fue primero, el ADN o la maquinaria de corrección? La maquinaria de corrección está codificada en el ADN, pero el ADN solo puede sobrevivir de generación en generación con la ayuda de la maquinaria de corrección. Parece ser un problema de huevo y gallina para la evolución.

Aminoésteres y ribosomas

ADN' s alfabeto de cuatro caracteres se utiliza para componer la mayor alfabeto veinte caracteres de aminoácidos alfa (α amino ácidos). La vida necesita esta colección de veinte bloques de construcción, cada uno distinto, para hacer una proteína. Estos bloques de construcción deben reaccionar entre sí para formar conexiones químicas específicas llamadas enlaces peptídicos. Los químicos han aprendido a usar esta reacción para fabricar polímeros como el nailon, para los cuales utilizaron moléculas de H_2N- $(CH_2)_6$-COOH como bloques de construcción específicos. La reacción ocurre sin mucha guía porque el NH_2 no tiene otra opción que reaccionar con el COOH.

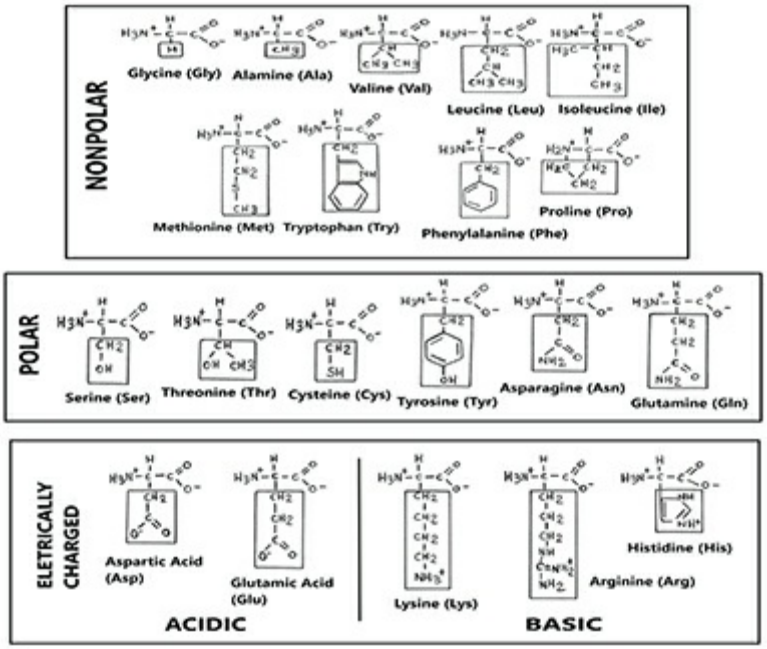

Figura 3.4. Los 20 α -L-aminoácidos, diseñados de manera magistral para formar un conjunto completo y económico de bloques de construcción para las proteínas de la vida, muestran un rango de todas las fuerzas intermoleculares principales, desde las fuerzas de dispersión de Londres de las cadenas de carbono no polares hasta la unión y carga H Atracción, así como propiedades ácidas y alcalinas.

Sin embargo, es mucho más complicado para las proteínas, ya que los α- aminoácidos tienen veinte cadenas laterales diferentes (llamadas "grupos R"; ver Figura 3.4) unidas a sus esqueletos. Cada proteína es un polímero, una cadena formada por muchas subunidades unidas entre sí como el nailon, pero compuesta de aminoácidos. Pero los grupos de aminoácidos R representan un grave problema para la síntesis de proteínas, ya que pueden reaccionar favorablemente con ellos mismos y con los grupos COOH y NH_2 de los otros α- aminoácidos. Las reacciones peptídicas deseadas, por otra parte, son generalmente desfavorables, requiriendo un cambio positivo en la energía libre (ΔG abreviada). [24]Todas las demás reacciones secundarias viables interferirán con la formación de un polímero proteico. Entonces, ¿cómo se resuelve la vida este grave problema de competencia? La vida se basa en un truco químico que se usa a menudo en la química sintética: la derivación.

Lo que sigue se pone bastante técnico. Siéntase libre de simplemente revisar las ilustraciones y luego omitir el pago, que se encuentra en el párrafo final de esta subsección.

Los ribosomas son grandes máquinas multimoleculares que sintetizan proteínas a partir de aminoácidos en células vivas. Pero antes de ir a los ribosomas, cada α- aminoácido se convierte en un aminoéster, un proceso llamado "derivatización", y se une a un "ARN de transferencia" (ARNt) por una enzima llamada t-ARN sintetasa. Hay distintos tRNAs y tRNA sintetasas para cada aminoácido. La competencia de las reacciones de R-con-R o con R-con-NH_2 o R-con-COOH energéticamente más favorables sería fatal para la síntesis de proteínas si no fuera por el ribosoma. Esto es lo que sucede durante el proceso de traducción, como α-los aminoácidos se unen a su t-RNA específico por sus t-RNA sintetasas. En un proceso muy elegante e ingenioso, los aminoésteres se fosforilan primero con ATP y luego, a través de una reacción de transesterificación, se forma un aminoéster unido a ARN-t.

Para garantizar que tenga lugar la deseable reacción de NH_2 con COOH, primero se esterifican los aminoácidos (lo que hace que el enlace químico sea más fácil de formar), luego se reúnen con las manos mecánicas de un ribosoma, manteniéndolos en la posición correcta para evitar la competencia. Las reacciones R tienen lugar y proporcionan la energía necesaria para que se forme el enlace.

Nuevamente, esta reacción impulsada por el ribosoma no parece ser una ventaja que la vida pueda adquirir poco a poco, por ensayo y error. Químicamente, es imposible producir una proteína funcional sin ribosomas que ya hayan resuelto el problema de reacción de la competencia, o sin la colección de veinte ARNt específicos y ARNt sintetasas que lo alimentarían con aminoésteres. Como en muchos otros casos con la celda y su código, si esta necesidad no está prevista y planificada, no habrá ninguna celda.

Conclusión: Códigos y codificadores.

Ahora retrocedamos un momento y revisemos, enfocándonos solo en el ADN. Con su estructura de doble hélice, el ADN es el más eficiente, el más protegido, el mejor calibrado

en términos de estabilidad química y la forma más compacta de almacenamiento de información conocida en el planeta. ¿Cómo se formó esta maravilla molecular perfecta, polimérica, de casi dos metros de largo, 3,2 billones de piezas (para humanos) sin que nada se lo dijera? Una célula no sabe que solo la ribosa funcionará, o que necesita una D-ribosa intacta para el ARN, pero una D-desoxirribosa para el ADN o un intercambio U / T, o cuatro bases con ajustes y tamaños perfectos, o un establo y un alambre aniónico de fosfato protector, o un escudo eléctrico, y más. Y sin embargo, tiene todas estas cosas y, de hecho, debe haberlas tenido desde la primera célula.

Antony Flew, un famoso filósofo ateo que se convirtió al teísmo al final de su vida después de estudiar esta evidencia, concluyó: "Cincuenta años de investigación en ADN han proporcionado materiales para un nuevo y enormemente poderoso argumento de diseño". [25]

El código Morse fue creado por una mente inteligente, la de Samuel FB Morse. El código de barras fue inventado por el brillante Norman Joseph Woodland y el código ASCII por el visionario Robert Bemer. Los códigos siempre tienen creadores de código.

El ADN, el ARN y el código genético (en el sentido de las secuencias necesarias para la síntesis de proteínas) sirven como hermosos ejemplos de previsión, en su estructura coordinada, mantenimiento y planes de respaldo. Francis Crick, co-descubridor de la doble hélice, propuso un escenario de "accidente congelado" para la evolución del código genético, [26] pero no pudo completar todos los detalles de este hipotético accidente y, cincuenta años después, explicaciones naturalistas. Para el origen del código de la vida no se han producido.

El código genético empequeñece a cualquier código humano en su sofisticación y capacidades. Eso por sí solo debería ser suficiente para sugerir la posibilidad de previsión y diseño. Pero hay más. Resulta que el código genético no puede leerse ni implementar las instrucciones que contiene. Para hacer eso, son necesarias otras soluciones sofisticadas. Investigamos esos trucos adicionales en el siguiente capítulo.

4. LOS AYUDANTES DE LA VIDA

Como vimos en el último capítulo, el código de la vida es fantásticamente sofisticado y tuvo que diseñarse cuidadosamente para que funcione correctamente. Pero tener un código no es suficiente. Necesitas muchos ayudantes también. En este capítulo, examinaremos algunas máquinas moleculares que ayudan a convertir el ADN en proteínas y las proteínas en seres vivos.

Operones

Desde el momento en que la vida está funcionando, se necesita un mecanismo de control para producir las proteínas correctas en el momento correcto con la concentración correcta. Las células deben poder activar y desactivar la expresión génica para responder a los cambios ambientales. Las bacterias son un buen ejemplo. A medida que se encuentran con entornos cambiantes, las bacterias expresan diferentes enzimas (las enzimas son un tipo de proteína) según los nutrientes disponibles. Las bacterias pueden, por ejemplo, desactivar los genes que expresan las enzimas que metabolizan la lactosa cuando no las necesitan, y luego volver a activar estos genes si la lactosa, el disacárido en la leche materna, se convierte repentinamente en el único nutriente disponible. Si la glucosa, el azúcar más preferido, está presente junto con la lactosa, las bacterias pueden incluso diferenciar este detalle y digerir la glucosa antes de activar los genes para digerir la lactosa. En las bacterias,

Estos grupos de genes co-regulados controlan la síntesis de proteínas. Por ejemplo, los genes necesarios para utilizar la lactosa como fuente de energía se organizan en el operón de lactosa, o " operón *lac* ". Este operón comprende tres genes agrupados. El primer gen, *lacZ* , codifica una enzima que divide la lactosa en glucosa y galactosa (β- galactosidasa). El segundo gen, *lacY* , codifica una "permeasa" necesaria para facilitar la *captación de* lactosa por parte de la célula. Y *lacA* es el tercer gen, requerido para usar azúcares de galactósidos similares. Los tres genes se activan o desactivan en tándem. Esta ingeniosa agrupación de genes bajo un mecanismo de control común permite que una bacteria cambie rápidamente su dieta varias veces a lo largo de su vida.[1]

Esta es ahora la materia de los libros de texto de biología de la escuela secundaria; pero cuando se diseccionó este mecanismo en la década de 1960, en realidad proporcionó la primera comprensión de la regulación de genes a nivel molecular, lo que resultó en premios Nobel para los investigadores. Los pasos en la regulación de genes, incluso en los organismos más simples, fueron impresionantes.

La evidencia sugiere que los operones son antiguos y siempre han sido una característica de los cromosomas bacterianos. Bajo la perspectiva darwiniana, tal organización es sorprendente: ¿cómo es posible que los genes evolucionen al azar para luego ser reclutados, yuxtapuestos en el cromosoma, y ensamblados en operones tan temprano en la historia de la vida?

Un operón está formado por un operador, un promotor y genes estructurales. (En algunas versiones, un operón también incluye un gen regulador estrechamente asociado, que es el gen *lacI* para el operón lac. [2]) Los genes se transcriben en ARN mensajero (ARNm) por la proteína llamada ARN polimerasa, que normalmente comienza el proceso del gen. expresión mediante la unión a un promotor. Sin embargo, hay un operador, una secuencia reguladora en el ADN que se superpone a la secuencia de ADN promotora del gen. Si una proteína represora, como LacI, se une al operador, evita la unión de la ARN polimerasa a la secuencia promotora. Esta unión a su vez evita la transcripción (*expresión génica)*.es otra forma de decirlo) para que el producto del gen (por ejemplo, LacZ, LacY o LacA) no se produzca cuando la lactosa esté ausente del medio ambiente, o esté presente en combinación con la glucosa. Este mecanismo garantiza la conservación de los recursos celulares al permitir la expresión génica solo en las circunstancias apropiadas.

Si las enzimas producidas por los genes estructurales son realmente necesarias, entonces el represor se desactiva (se elimina del operador), lo que permite que la ARN polimerasa acceda al promotor para iniciar la transcripción. Esto es lo que se conoce como la fase de inducción.

En las bacterias, que carecen de núcleo, una vez que se inician los ARNm, los ribosomas pueden cargarse inmediatamente en el mensajero y comenzar a producir proteínas incluso antes de que se complete el ARNm. Este acoplamiento de transcripción y traducción en bacterias proporciona tiempos de respuesta increíblemente cortos a las cambiantes condiciones ambientales. Cuando la lactosa se vuelve repentinamente disponible, la *E. coli* pasa rápidamente de tener solo unas pocas moléculas de LacZ (β- galactosidasa) en el citoplasma a tener el 15% de su proteína celular total hecha de esta enzima.

James Shapiro ofrece la siguiente observación en la revista *Gene* :

> Una serie de interacciones moleculares altamente integradas permiten a las células de *E. coli* distinguir entre dos azúcares y ejecutar el siguiente algoritmo no trivial: SI hay lactosa disponible Y SI no hay glucosa disponible Y SI la célula puede sintetizar beta-galactosidasa y permeasa de lactosa, ENTONCES transcribir *lacZYA* del promotor *lac* . [3]

Así que encontramos que *E. coli* usa sentencias lógicas para tomar decisiones, al igual que las sentencias lógicas utilizadas en la codificación de computadora.

El sonido de un montaje de mano

Las proteínas están hechas de aminoácidos alfa que reaccionan para formar una gran cantidad de polímeros (macromoléculas que consisten en muchas subunidades similares). La mayoría de las proteínas deben plegarse en una forma 3D funcional. ¿Cómo sabe un polímero sin sentido qué hacer? Si no se dobla bien, la proteína puede deformarse y romperse. El plegamiento adecuado requiere un equilibrio altamente intrincado de fuerzas intra e intermoleculares.

Hay minas terrestres a lo largo del camino para interrumpir la exquisita coreografía del plegamiento de proteínas. Afortunadamente, todos estos fueron adecuadamente anticipados y desactivados.

Los aminoácidos, si se generan "al azar", vendrían en dos formas: diestros (D) y zurdos (L) (ver Figura 4.1), en lo que se llama una "mezcla racémica". El problema es que La mezcla racémica haría un lío de la estructura 3D de una proteína. Si la célula utilizara cualquiera que no fuera un grupo puro de aminoácidos zurdos, o un grupo puro de aminoácidos diestros, no podría producir una estructura 3D funcional para una proteína.

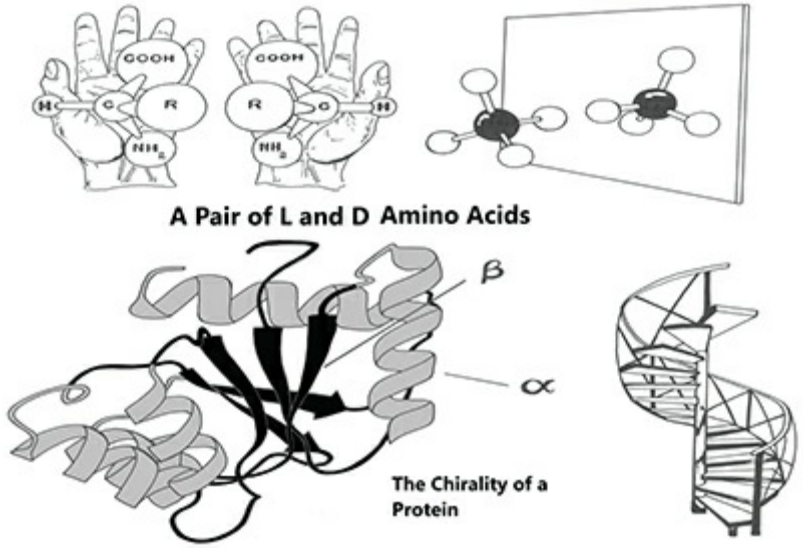

Figura 4.1. En la fabricación de las proteínas intrincadas, intrincadamente rizadas y esenciales para la vida, solo se utilizaron los alfa-L-aminoácidos como bloques de construcción. Esto es afortunado porque una combinación de zurdos y diestros no hubiera funcionado. Curiosamente, las fuerzas químicas ciegas tienden a producir una mezcla más o menos uniforme de izquierda y derecha, pero de alguna manera la vida estaba dotada de todos los zurdos para trabajar. Para atraer a todos los zurdos, necesitamos un bioquímico experto o una célula viva, pero según los evolucionistas, se supone que la vida ha comenzado sin ninguno de los dos.

Una posible solución al problema de la mezcla L / D sería programar secuencias de ADN para aminoácidos L o D específicos. Pero esta programación adicional sería tremendamente cara, ya que se necesitarían codones adicionales para L o D. La vida exhibe

una solución más elegante, comenzando con un 100% de aminoácidos zurdos, una situación denominada *homoquiralidad* .

Si la vida comenzó con una sopa primordial, esto significa que los alfa-aminoácidos diestros se eliminaron o se mantuvieron fuera de la sopa primordial. Esta solución fue un golpe maestro, y uno de los más afortunados para nosotros. Sin la homoquiralidad para los aminoácidos de la célula, ninguna proteína funcional sería factible y la célula moriría. Más precisamente, nunca volvería a la vida.

Enzimas

La vida requiere la ejecución rápida de innumerables reacciones químicas, que ocurren constantemente a altas velocidades en todas nuestras células. Para lograr esto, se requieren increíbles máquinas nanomoleculares: proteínas conocidas como *enzimas* (Figura 4.2). Estas maravillas moleculares, cargadas con tecnología química sofisticada, son esenciales para acelerar muchas de las reacciones químicas de la vida. Las reacciones que de otra manera podrían durar muchos años ocurren en una fracción de segundo con la ayuda de enzimas.

Las enzimas son catalizadores, lo que significa que no se consumen en las reacciones que aceleran, por lo que se pueden reciclar y reutilizar en reacciones sucesivas. Una enzima puede procesar millones de moléculas de sustrato por segundo. Actúa jugando con la química, es decir, reduciendo la energía de activación necesaria para convertir los reactivos en productos. *La energía de activación se* refiere a la cantidad de energía requerida para romper los enlaces en las moléculas de reactivo para crear nuevos enlaces en las moléculas del producto.

Vale la pena repetir: la vida en la Tierra no puede esperar a que aparezcan enzimas. No hay enzimas, no hay reacciones rápidas, no hay vida. La mayoría de las reacciones bioquímicas requeridas para la vida son intrínsecamente lentas, de hecho letalmente lentas. Es lógico, entonces, suponer que las enzimas deben anticiparlas y acelerarlas *antes de que la* vida pueda ponerse en marcha.

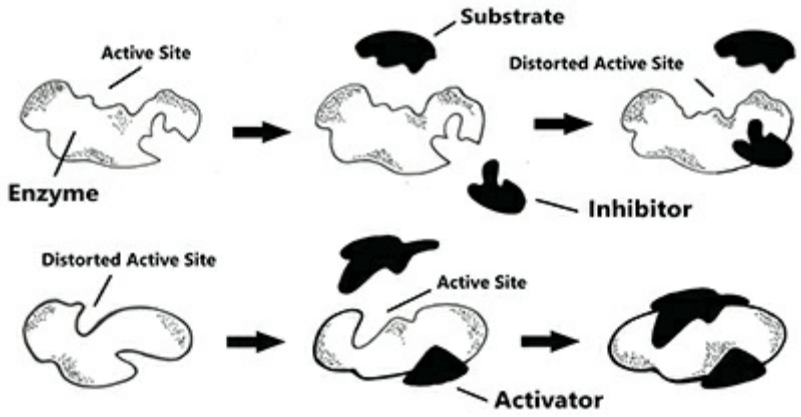

Figura 4.2. La acción intrincada de una enzima acelera las reacciones químicas. La molécula objetivo se captura y encapsula adecuadamente dentro del sitio activo de la enzima. Los enlaces objetivo son entonces formados o rotos La actividad enzimática debe controlarse con precisión para producir resultados amigables con la vida, y felizmente, la vida tiene una serie de activadores de enzimas e inhibidores para hacer el trabajo.

Muchas enzimas están compuestas por una sola cadena de proteína, que puede ser muy sofisticada y, a menudo, son moléculas enormes. Las enzimas conjugadas son otra clase común de enzimas. Estos consisten en una porción de proteína conocida como apoenzima, cofactores inorgánicos como los iones de hierro, magnesio o zinc, y / o cofactores orgánicos como las vitaminas o sus derivados. Estas enzimas conjugadas mejoran aún más la sofisticación del sistema, dada la mayor diversidad de funciones y estructuras. Otras enzimas están compuestas por múltiples subunidades, cada una de las cuales es una proteína individual que contribuye al funcionamiento de la enzima. A veces, las subunidades llevan a cabo múltiples pasos de reacción y entregan los intermedios de un sitio de reacción al siguiente muy rápidamente, como las papas calientes, de modo que los intermedios no se degradan antes de que pueda tener lugar el siguiente paso.

Las enzimas son muy efectivas, pero solo funcionan bien si la temperatura del medio, el equilibrio del pH y la concentración del sustrato se han ajustado correctamente. Bajo temperaturas y pH demasiado bajos o demasiado altos, una enzima se desnaturaliza, es decir, pierde su forma funcional 3D. Numerosas enzimas esenciales para la vida requieren ambientes químicos estrictamente controlados, y solo funcionan correctamente dentro de células completamente formadas y funcionales. Estas enzimas intracelulares plantean otro problema de huevo de gallina: ninguna célula, ninguna enzima; Sin enzimas, sin células.

¿Ves el dilema? Las enzimas, que son exquisitas obras de ingeniería sofisticada, necesitan células completamente formadas y funcionales para sobrevivir; y las células necesitan enzimas completamente operativas para sobrevivir. Así que tienes que tener ambas al principio. No puedes tener un pop en la existencia por algún milagro de la casualidad, y luego, algún tiempo después, el otro pop en la existencia por un golpe similar de buena fortuna, y esperar que el otro siga esperando. El primero estaría muerto hace

mucho tiempo antes de que llegara el segundo, y con el primero muerto, el segundo está en un viaje muy corto en el pequeño y cálido estanque de Darwin.

Las enzimas también tienen una dinámica interna espectacular, dinámica dictada por un ballet intramolecular finamente afinado. Este ballet sincronizado involucra el movimiento de partes de proteínas: todo, desde cosas muy pequeñas como aminoácidos individuales o grupos de aminoácidos, hasta un bucle de la cadena de proteínas, o segmentos de la cadena de proteínas con formas 3D específicas que se denominan hélices α . y las hojas β (Figura 4.1), todo el camino hasta dominios de proteínas enteros. Estos movimientos son impulsados por fuerzas intramoleculares finamente sintonizadas y ocurren en tan solo unos pocos cuatrillones de un segundo. (Un billón es 1 seguido de 15 ceros, es decir, mil trillones). Las enzimas no solo colocan sus sustratos correctamente en el espacio 3D, lo que les permite reaccionar, sino que también las agitan con vibraciones precisas para producirlas. Las conformaciones propias.

Algunos ejemplos de enzimas revelarán cuán importantes son para la vida. La ARN polimerasa, por ejemplo, ayuda a transcribir el ADN en ARN. Las aminoacil-tRNA sintetasas ajustan el aminoácido adecuado al tRNA apropiado, permitiendo que los ribosomas funcionen correctamente. No hay enzimas, no hay vida. Y no hay vida, no hay enzimas.

Si se le asignara uno para diseñar una enzima efectiva desde cero, imagine cuánto conocimiento previo sería necesario. Tendría que entender el objetivo final y ser consciente de la forma tridimensional de su sustrato antes de poder crear una cavidad adecuada en la enzima donde encaja el sustrato (Figura 4.2). Necesitaría conocer los grupos funcionales en el sustrato que la enzima necesita para inmovilizar en su sitio activo (utilizando interacciones intramoleculares e intramoleculares efectivas, como el hidrógeno y la unión polar). También necesitaría saber qué reacción fue necesaria y dónde debería ocurrir para activar el sitio adecuado de la molécula inmovilizada. Finalmente, deberías saber cómo proteger tu enzima de reacciones dañinas con el sustrato.

Y todo eso es solo la preparación inicial. Después de eso, necesitaría saber cómo colocar "manos" nanomoleculares en su enzima para promover, por ejemplo, la hidrólisis de su sustrato por reacción con una molécula de agua entregada manualmente.

Es extremadamente difícil describir este proceso, por no decir nada de realmente diseñar un sistema para lograrlo. Sin embargo, las enzimas lo hacen automáticamente, una y otra vez, con una entrega puntual.

Hay un laboratorio que ha comenzado este proceso de intentar hacer enzimas de diseño: el laboratorio de David Baker en la Universidad de Washington. Eligen el tipo de reacción que desean crear, luego buscan el tipo de química que necesitarían crear, luego encuentran una enzima que tiene un sitio activo que se acerca más a lo que necesitan. Luego, el modelado interactivo de los cambios en la secuencia y estructura de la enzima se ejecuta en la computadora hasta que estén satisfechos, han encontrado una secuencia que se acerca más a la que funcionará. Luego sintetizan y prueban la enzima. Hacer espuma, enjuagar,

repetir varias veces. Han logrado crear enzimas de diseño pero, la última vez que miré, con una actividad específica baja. Aún no es normal.

Los científicos y los medios de comunicación están entusiasmados con las posibilidades de llevar la inteligencia sobre el problema del diseño de enzimas. A partir de la suposición de que las enzimas son el producto de procesos evolutivos, Baker dice: "Hay muchas cosas que la naturaleza ha descubierto simplemente al azar". Y agrega: "A medida que entendemos más y más de los principios básicos , deberíamos poder hacerlo mucho mejor. " [4] Ya veremos. Es una prueba inversa interesante de diseño inteligente, ¿no te parece? [5]

Chaperones y Chaperoninas

Las proteínas son piezas maravillosas de nanoingeniería química, pero para que estos gigantes biomoleculares se vuelvan funcionales, las cadenas lineales de los aminoácidos alfa-L deben asumir formas tridimensionales específicas. A medida que la proteína toma forma, se pliega a sí misma gracias a numerosas fuerzas intramoleculares bien equilibradas. Pero hay muchas formas posibles en 3-D, y las proteínas pueden perderse en el camino. La forma funcional final es su estado conformacional de energía libre más bajo, pero a veces es difícil de encontrar. Si se pliega en la forma incorrecta, una proteína es inútil. Si las primeras proteínas cayeran en estos valles de la muerte, la vida en la Tierra nunca habría aparecido. Entonces, ¿cuál fue la solución? Los asombrosos chaperones (figura 4.3). Aquí es cómo se describe su papel en la revista *Nature* :

> La mayoría de las proteínas deben plegarse en estructuras tridimensionales definidas para obtener actividad funcional. Pero en el entorno celular, las proteínas recién sintetizadas corren un gran riesgo de plegamiento y agregación aberrantes, formando potencialmente especies tóxicas. Para evitar estos peligros, las células invierten en una red compleja de chaperonas moleculares, que utilizan ingeniosos mecanismos para evitar la agregación y promover un plegamiento eficiente. Debido a que las moléculas de proteínas son altamente dinámicas, se requiere una vigilancia constante de los chaperones para garantizar la homeostasis de las proteínas (proteostasis). [6]

Las chaperonas que ayudan a las proteínas a plegarse en la forma correcta se llaman "chaperoninas", pero como veremos más adelante, las chaperonas también realizan otras funciones. Como lo señalaron los autores de otro estudio, "En el nivel más elemental, las interacciones biomoleculares definen la vida, y las proteínas chaperonas están diseñadas para moderar esas interacciones". [7]

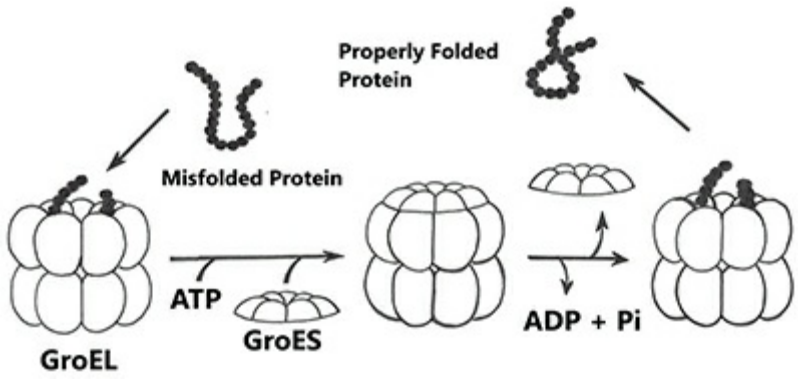

Figura 4.3. Las chaperonas, incluidas las chaperoninas, son las "fisioterapeutas de la vida" que ayudan a las "proteínas del bebé" a ponerse en forma. ¿Qué fue primero: las proteínas que necesitan chaperones para plegarse correctamente o las chaperonas que ayudan a plegar proteínas de manera rápida y adecuada?

El plegamiento espontáneo es bastante rápido (de milisegundos a segundos) para muchas proteínas, pero muchas proteínas grandes y críticas no encuentran por sí mismas la forma correcta y, sin ayuda, se convertirían en una gran cantidad de desechos moleculares. Además, cuando se forma un complejo de proteínas, una proteína permanecerá en una forma incorrecta si no encuentra una subunidad asociada. Mucho tiene que irse bien para que la proteína asuma su forma funcional en 3D.

Las proteínas correctamente plegadas son esenciales para la vida porque realizan la mayoría de las funciones necesarias en una célula. Existen diferentes tipos de chaperones para ayudar a plegar diferentes tipos de proteínas. Un ejemplo es la chaperona HSP70, que el bioquímico Laurence Moran describe como la unión "a las regiones hidrófobas de la proteína de plegamiento, evitando que se agregue con otras proteínas parcialmente plegadas y la dirija hacia la estructura final". [8]

En pocas palabras, las chaperonas evitan los contratiempos de plegamiento y, por lo tanto, son cruciales en la síntesis de proteínas. La forma en que se controla el plegamiento de proteínas varía de una proteína a otra. Algunas chaperonas ayudan a plegar ciertas cadenas de aminoácidos mientras aún están siendo construidas por los ribosomas. Los acompañantes posteriores a la traducción realizan este trabajo después de completar la traducción de otras proteínas. Un chaperón, el factor de activación, ralentiza el plegamiento incorrecto de las cadenas de aminoácidos, e incluso puede desplegar cadenas de aminoácidos que ya se han plegado incorrectamente.

Muchas proteínas requieren chaperones para plegarse de forma rápida y adecuada. En lugar de auto-ensamblaje espontáneo encontramos asamblea asistida. E incluso después de que las proteínas se plieguen correctamente, las chaperonas les ayudan a mantener sus estados funcionales, mediante un proceso conocido como proteostasis. [9]

Tal trabajo es indispensable. Las proteínas mal plegadas no son simplemente inútiles para la célula, sino también ruinosas. Sus superficies hidrófobas expuestas se unen entre sí, haciendo que las proteínas mal plegadas comiencen a agruparse. En algunas enfermedades

humanas heredadas, estos grupos de proteínas mal plegadas pueden causar síntomas graves e incluso la muerte. Las chaperonas normalmente son capaces de prevenir este agrupamiento de proteínas mediante la unión a las superficies hidrófobas expuestas utilizando sus propias superficies hidrófobas. Por lo general, las proteínas plegadas incorrectamente tienen parches expuestos de aminoácidos hidrófobos en sus superficies, mientras que las proteínas plegadas correctamente tienen estos aminoácidos hidrófobos enterrados en su interior.

Estos rescatadores de proteínas compiten con otro mecanismo para el servicio de limpieza. Este segundo mecanismo, al reconocer un parche hidrofóbico expuesto anormalmente en la estructura de una proteína, marca la proteína para su destrucción por grandes agregados de enzimas que se alimentan de proteínas llamadas "proteasomas". El funcionamiento normal de las chaperonas y proteasomas evita magistralmente la acumulación de proteínas en un célula.

Y aquí está el truco. Para que las células funcionen, las chaperonas son esenciales para plegar y mantener las proteínas cruciales de la célula. [10] Además de ayudar a plegarse, los chaperones también ayudan en condiciones de estrés celular. Por ejemplo, lo que se conoce como *proteínas de choque térmico* (HSP) devuelven a su forma original otras proteínas dañadas por el choque térmico. Sin ellos, no hay vida. Y, sin embargo, las chaperonas están hechas de proteínas que deben ser plegadas y mantenidas por otros tipos de chaperonas. [11] Para aquellos comprometidos con los escenarios de origen de la vida que carecen de previsión y planificación, este es un problema diabólicamente difícil.

El mencionado Laurence Moran, profesor de bioquímica en la Universidad de Toronto, no está de acuerdo:

> Todas las chaperonas comunes se pliegan espontáneamente sin la ayuda de ninguna otra chaperona. La razón por la que se les llama proteínas de "choque térmico" es porque su síntesis se induce cuando las células se encuentran a altas temperaturas u otras condiciones que pueden hacer que las proteínas se desarrollen o se vuelvan inestables. Estas chaperonas de rescate se fabrican en grandes cantidades en estas condiciones para ayudar a prevenir la destrucción de las proteínas celulares normales. Si entiendes esto, entenderás que los chaperones son capaces de un rápido y espontáneo plegamiento. [12]

Contraste la imagen de los chaperones de Moran de manera rápida y fácil "plegándose sin la ayuda de ningún otro chaperón" con un comentario al respecto por Per Hammarström, profesor del Departamento de Física, Química y Biología de la Universidad de Linköping, Suecia. Hammarström es coautor de un artículo sobre plegamiento de chaperones publicado en el *Journal of Chemical Biology*.. Este artículo trata sobre dos proteínas chaperonas llamadas GroES y GroEL, ambas proteínas de choque térmico que se activan en respuesta al estrés, y que trabajan juntas para ayudar a plegar o replegar las proteínas. Se ha demostrado que interactúan con hasta el 30% de las proteínas de la célula,

por lo que su importancia es real. Juntos forman una estructura en forma de barril, con Groel la parte principal del barril y la tapa Groes. Las proteínas sin plegar entran en el barril y, después de varios ciclos de unión y liberación, se dejan entrar nuevamente en el citoplasma, ahora se pliegan.

Al responder a una pregunta publicada en Research Gate sobre el plegamiento de chaperones, Hammarström señaló que "recientemente hemos demostrado que GroES el co-chaperón probablemente está ayudando a plegar GroEL". Este comentario, combinado con el trabajo anterior publicado en *Nature* [13] , sugiere que Los chaperones sí sirven de chaperones a otros chaperones: GroES ayuda a plegar GroEL. Además, el *artículo del Journal of Chemical Biology* dice que "la traducción y, por lo tanto, la síntesis de proteínas de GroES y GroEL se organizan espacialmente de acuerdo con el orden de los genes. Por lo tanto, GroES primero se sintetizará facilitando su interacción con el GroEL formado posteriormente. Por lo tanto, es intrigante proponer que GroEL es un sustrato para GroES. " [14] Es decir, GroEL se basa en GroEL.

En resumen, se puede necesitar un GroES existente para ayudar a plegar un GroEL de nueva formación; con lo cual ambos trabajan en sincronía para ayudar a plegar otras proteínas clave.

La sorprendente habilidad de las proteínas de choque térmico

Bruce Alberts y sus colegas notaron que estas proteínas de choque térmico "se sintetizan en cantidades dramáticamente aumentadas después de una breve exposición de las células a una temperatura elevada". Por ejemplo, la temperatura óptima para las células humanas es de 98.6 ° F, pero si están expuestas a una temperatura de 8 o 9 grados por encima de eso, experimentarán un choque térmico. Esto refleja el funcionamiento de un sistema de retroalimentación que "responde a un aumento en las proteínas mal plegadas ... al aumentar la síntesis de las chaperonas que ayudan a estas proteínas a replegarse". [15]

Como explican F. Ulrich Hartl y sus colegas, las chaperonas HSP70 "son máquinas moleculares de componentes múltiples que promueven el plegamiento a través de los ciclos de unión y liberación regulados por ATP y cofactor". La propia HSP70 está regulada por proteínas del factor de intercambio de nucleótidos y por proteínas de la familia HSP40 . [16] Las proteínas que aún no se pliegan correctamente con la ayuda de estas chaperonas son tratadas por los fisioterapeutas más duros de la vida: las *chaperoninas*., "complejos de doble anillo, similares a una jaula ... que funcionan encerrando globalmente proteínas de sustrato ... para el plegamiento". Las chaperoninas funcionan como una especie de respaldo. "Las chaperoninas cilíndricas permiten el plegamiento de moléculas de proteínas individuales encerradas en una jaula", Hartl et al. escribir. "Los dos sistemas actúan de manera secuencial, por lo que la HSP70 interactúa en sentido ascendente con los polipéptidos nacientes y recién sintetizados y las chaperoninas funcionan en el flujo final de aquellas proteínas que no logran alcanzar el estado nativo mediante el ciclo solo en la HSP70". [17]

Para beneficio de la ciencia, deberíamos preguntarnos: ¿este increíble y altamente diversificado sistema de reconocimiento y corrección de errores, que involucra una gran cantidad de macromoléculas altamente selectivas y sofisticadas, puede surgir por un proceso natural no guiado y ciego? Los darwinistas han respondido con un fuerte "sí" a esta pregunta y han "explicado" el surgimiento de los chaperones basándose en historias vagas y justas. Pero estas historias carecen de detalles sobre cómo estas maravillas de la nanotecnología podrían haber evolucionado un paso mutacional plausible a la vez.

Considere, por ejemplo, la siguiente propuesta de Moran, quien escribió un ensayo sobre chaperonas titulado "Pliegue de proteínas, chaperonas e idiotas". (La última palabra en el título es un insulto dirigido a los defensores del diseño inteligente).

> Al principio, no necesitabas chaperones porque cada proteína se plegaba rápidamente por sí sola. Algunas de estas proteínas primitivas podrían haber sido un poco lentas de plegar, por lo que la evolución de las primeras chaperonas fue ventajosa porque mejoró la velocidad de plegamiento de estas proteínas. Los chaperones no eran absolutamente necesarios para la supervivencia, pero confirieron una ventaja selectiva sobre las células que los tenían.
>
> Una vez presentes las chaperonas, podrían evolucionar nuevas proteínas que, de lo contrario, habrían sido demasiado lentas para plegarse en ausencia de las chaperonas. Con el tiempo, las células acumularon cada vez más proteínas de plegamiento lento para que hoy en día ninguna célula pueda sobrevivir sin chaperonas. [18]

La explicación de Moran para los chaperones se convierte en obvios errores bioquímicos. Muchas funciones esenciales de la vida, funciones que tienen todas las formas de vida, requieren proteínas de plegamiento asistidas por chaperonas. Los hallazgos recientes solo han ampliado los roles esenciales de la biología chaperona. "Ha habido una serie de descubrimientos recientes", informan RA Quinlan y RJ Ellis, "que extienden este aspecto relativamente descuidado de la biología de la chaperona para incluir la proteostasis, el mantenimiento del potencial redox celular, la estabilidad del genoma, la regulación transcripcional y la dinámica del citoesqueleto". [19] Estos procesos son fundamentales para la vida. Como lo expresaron Quinlan y Ellis, "Los chaperones se encuentran en la encrucijada de la vida y la muerte porque median funciones esenciales, no solo durante los malos tiempos, sino también en los buenos tiempos". [20]

Por lo tanto, las probabilidades son muy pequeñas de que la vida podría haber existido solo con proteínas auto plegables. Estas proteínas habrían sido muy pocas, y se ha encontrado que la vida requiere cientos de proteínas expresadas por al menos 250 genes esenciales, 1,000 o más si consideramos de manera realista una forma de vida totalmente independiente. [21] La probabilidad de que cientos de proteínas esenciales todas se plieguen en la forma correcta a la velocidad adecuada por sí mismas sin errores engendra una creencia

racional. Los grupos tóxicos de proteínas inutilizadas y mal plegadas son astronómicamente más fáciles de formar que las funcionales.

Además, incluso si las proteínas funcionales pudieran formarse por algún golpe de extraordinaria buena suerte, llevaría demasiado tiempo, y los diversos tipos de proteínas necesarios para una forma de vida viable unicelular no tendrían ninguna posibilidad significativa de encontrarse en el mismo lugar y Así poder ensamblar en un todo funcional. Cada una de las proteínas milagrosas moriría una muerte rápida y solitaria antes de encontrar las otras proteínas. Sin chaperones, no hay células viables.

La explicación de Moran es un ejemplo de lo que me refiero como la falacia evolutiva del "por qué con ninguna manera". Es fácil explicar la ventaja ("por qué") de una característica; el "cómo", con los mecanismos correspondientes y la ruta evolutiva detallada a nivel molecular, se ignora en gran medida o totalmente. Tales "explicaciones" no tienen en cuenta el inmenso riesgo y las dificultades de tal salto evolutivo. Para Moran, la aparición de chaperones se justifica simplemente por la ventaja que confiere. Pero al no ofrecer un camino evolutivo razonable, no puede explicar *cómo* , bioquímicamente, tal característica podría haber evolucionado.

Tapas de filamento flagelar

La vida está llena de problemas que deben resolverse, y la forma en que se resuelven es increíble. Hay tantas maravillas moleculares que deberían darnos una pausa. Tomemos, por ejemplo, un problema que la humilde bacteria debe resolver: llegar a su próxima comida. Para la bacteria *E. coli* y muchas otras bacterias, la solución ha sido construir flagelos.

El motor bacteriano del flagelo (Figura 4.4) fue llamado por el bioquímico Michael Behe, quien presentó esta espectacular nanomáquina como un desafío a la teoría moderna de la evolución. Cualquiera que sea su opinión sobre esa interpretación, una cosa está más allá de toda controversia: el flagelo bacteriano es una maravilla de la nanoingeniería de primer rango.

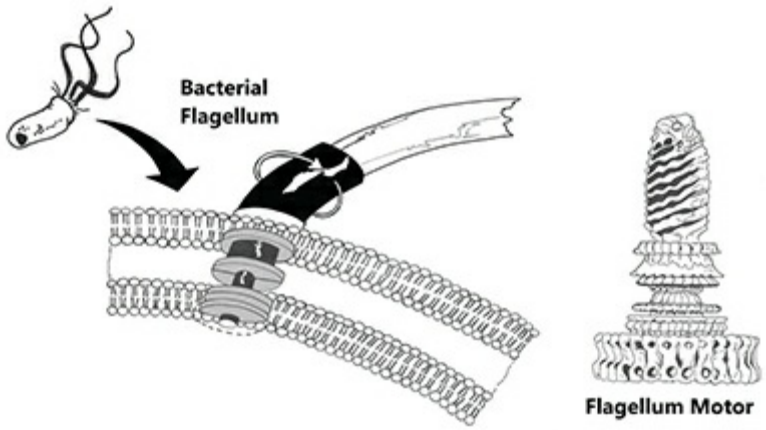

Figura 4.4. Detalles del motor del flagelo, posiblemente el motor más espectacular de la Tierra.

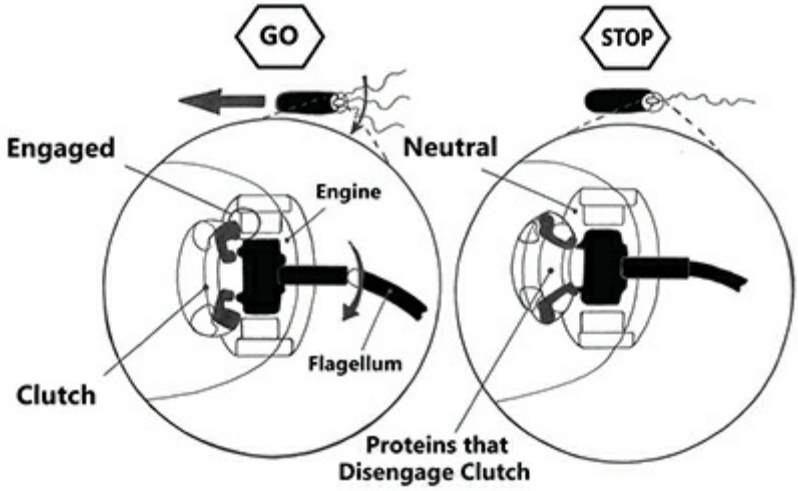

Figura 4.5. El increíble sistema de embrague en el motor del flagelo.

El motor del flagelo se compone de cuarenta a cincuenta complejos de proteínas, que requieren millones de átomos en cada uno. Todos estos muchos millones de átomos están perfectamente dispuestos para hacer el flagelo motor y cola. Miles y miles de aminoácidos organizados de forma ingeniosa y secuencial en las cadenas de aminoácidos alfa-L de estas proteínas experimentan equilibrios nanométricos perfectos de fuerzas inter e intramoleculares para plegarse correctamente y encajar de manera sincronizada. Estas piezas nanomoleculares, con estructuras tridimensionales perfectas, funcionan y parecen rotores, ejes, estatores, juntas tóricas, uniones, una hélice e incluso un embrague.

Hemos escuchado en otras partes acerca de las complejidades de las partes y la función del motor; También hay más en la historia sobre el control genético de su ensamblaje de lo que tenemos tiempo para contar aquí. Sin embargo, destaca un detalle de la estructura

flagelar: la perfecta combinación de cuatro cables de proteínas que forman su filamento (Figura 4.6). El filamento flagelar, que actúa como hélice, puede ser diez veces más largo que la propia célula. Es un conjunto helicoidal bien ordenado, largo y con forma de tornillo, con un tubo hueco de unos veinte nanómetros de diámetro. Está hecho de una proteína de flagelina dispuesta en hilos helicoidales individuales, que se envuelven entre sí, como los hilos de una cuerda, para formar una trenza.

En general, este filamento muestra una forma helicoidal relativamente inflexible, como un sacacorchos estirado que impulsa la bacteria hacia adelante cuando gira. Como señalan Koji Yonekura, Saori Maki-Yonekura y Keiichi Namba, las estructuras tubulares comprenden "once protofilamentos, que son conjuntos helicoidales de subunidades casi longitudinales" .[22] Y eso solo raya la superficie de la sofisticación involucrada. ¿Cómo se montó una cosa así en primer lugar?

Dejando de lado la cuestión de su origen en el pasado, es lo suficientemente desalentador como para comprender cómo esta maravillosa máquina de nadar se ensambla aquí en el presente. Los hilos de alambre que quedan solos se convierten en un lío enmarañado, como auriculares en la parte inferior de una mochila. Para evitar este desastre, el flagelo tiene una tapa tridimensional, una plantilla nanomolecular espectacular (Figura 4.6). Esta guía nanomolecular perfectamente moldeada, con "su placa en forma de pentágono y sus extensiones en forma de patas cuidadosamente elaboradas", como la describió un escritor, funciona "como un promotor rotativo para el autoensamblaje de monómeros de flagelina", [23] guiando perfectamente la sincronización. Deslizamiento de los cables a través de él.

Esta proteína protectora, cuando está en el trabajo, se asienta sobre el filamento flagelar hueco y guía el conjunto utilizando cinco dominios de patas, que apuntan hacia abajo y encajan en cavidades situadas en la punta distal del filamento emergente. [24] Este entrelazado hace que la cola final sea fuerte, resistente y perfecta. Pero, ¿cómo crece este alambre perfecto? En la base del flagelo, un sistema secretor de tipo III bombea monómeros de flagelina (los cables nanomoleculares) a través del interior de la cola, en formación. Cada filamento de flagelo ya instalado empuja el nuevo cable en el molde molecular de la proteína, girándolo a la perfección a medida que la cola crece.

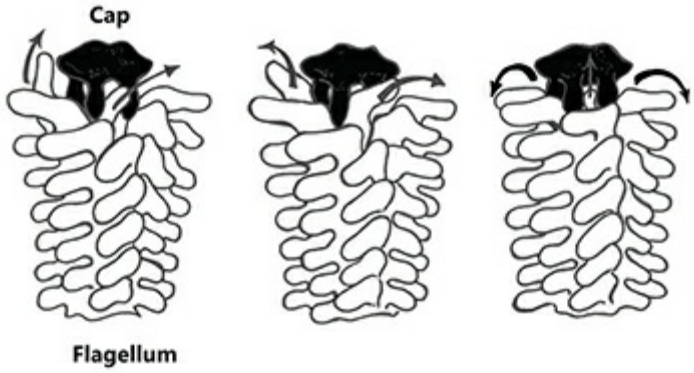

Figura 4.6. La tapa intrincada y cuidadosamente diseñada que guía el largo y helicoidal ensamblaje de alambres de proteína de flagelina, haciéndolos envolverse unos a otros para formar el filamento flagelar similar a una trenza.

Muchas bacterias deben moverse para encontrar alimento. Para ellos, un flagelo es necesario para la supervivencia. Desarrollar un flagelo no es un asunto menor. En *la caja negra de Darwin* , Michael Behe argumentó que no podría haber evolucionado una mutación aleatoria a la vez porque no hay un camino evolutivo viable. La cosa, como él dijo, es irreduciblemente compleja. Los evolucionistas han argumentado [25] que el motor del flagelo irreduciblemente complejo podría haber surgido paso a paso, y que han invocado varias explicaciones darwinianas que no son de diseño, pero sus escenarios propuestos carecen de todo detalle.

Pero la proteína límite puede ser el mayor desafío para aquellos comprometidos con la evolución ciega, ya que parece que solo tiene un propósito dentro de la célula y es inútil sin los monómeros de flagelina que ayuda a ensamblar. Y sin tal tapa para guiar el ensamblaje, los monómeros de flagelina tampoco son de ninguna utilidad. [26] Entonces, ¿cuál evolucionó primero?

La más famosa de las propuestas evolutivas es el modelo de coopción, que supone el uso de piezas ya disponibles de otros sistemas, como el sistema secretor tipo III. El biólogo Kenneth Miller escribe: "El punto, que la ciencia ha comprendido durante mucho tiempo, es que los fragmentos de máquinas supuestamente irreduciblemente complejas pueden tener funciones diferentes, pero aún así útiles ... La evolución produce máquinas bioquímicas complejas al copiar, modificar y combinar proteínas. previamente utilizado para otras funciones. " [27]

Pero esta "explicación" contiene química cero con una dosis apabullante de retórica y analogías morfológicas. El argumento de la coopción de Miller es erróneo porque todo el flagelo (especialmente una pieza como la tapa) requiere previsión. La única forma de guardar tal argumento sería contar con la ayuda de algún tipo de MacGyver darwiniana para

realizar las súper tareas nanomoleculares de "copiar, modificar y combinar" todas las partes moleculares, y hacerlo con la máxima precisión. el flagelo exige.

Aunque el argumento de Miller ganó cierta fuerza al principio, ahora se reconoce que, incluso suponiendo que la teoría evolutiva moderna es cierta, los sistemas secretores de tipo III son innovaciones recientes, probablemente derivadas de flagelos más complejos y no de progenitores flagelares. Con respecto a la evolución del flagelo, vale la pena citar a uno de sus principales investigadores, Shin-Ichi Aizawa. "Dado que el flagelo está tan bien diseñado y hermosamente construido por una vía de montaje ordenada, incluso yo, que no soy creacionista, obtengo un sentimiento impresionante de su belleza 'divina'", escribe Aizawa. "Sin embargo, si el flagelo ha evolucionado de una forma primitiva, ¿dónde están los restos de su antepasado? ¿Por qué no vemos flagelos más simples de lo que son hoy en día? ¿Cómo fue posible que los flagelos hayan evolucionado sin dejar rastros en la historia?[28]

Las máquinas moleculares siempre me han fascinado. Y cuanto más los estudio, más me asombro de las intrincadas soluciones que representan estos pequeños mecanismos. Además, estoy más convencido de que tales soluciones muestran que los problemas cruciales se reconocieron con anticipación y se resolvieron. Este acto de anticipación, la previsión, no es una característica de los procesos materiales ciegos. Es un acto de inteligencia, de una mente.

5. BACTERIAS, INSECTOS Y PLANTAS CARNÍVORAS

Hasta ahora, hemos visto ejemplos de previsión en las formas de vida más diminutas de la Tierra: las células y las máquinas moleculares inimaginablemente pequeñas que las mantienen funcionando. Pero los hermosos ejemplos de planificación no se limitan a las células. Existen en todas las formas de vida, desde las más pequeñas hasta las más grandes. En este capítulo, veremos cómo algunas de las criaturas más pequeñas de la Tierra, y algunas de sus plantas más inusuales, tienen características que anticipan problemas y los resuelven de muchas maneras ingeniosas.

Microbios: Otra paradoja de pollo y huevo

El planeta tierra está magníficamente equipado para albergar la vida. Pero el fenómeno de la vida en sí crea problemas que amenazan la vida. Por ejemplo, la molécula de nitrógeno N_2 o $N \equiv N$, es el gas "inerte" perfecto para nuestra atmósfera. Pero también necesitamos nitrógeno disponible en una forma más reactiva, Nitrógeno atómico (N), para producir aminoácidos (fórmula general $RCHNH_2COOH$) y proteínas. Entonces, ¿cómo puede $N \equiv N$, una molécula muy estable conectada por un triple enlace, convertirse en N atómico? ¿Cómo se puede conservar en formas químicas útiles? ¿Y cómo se puede reponer N_2? El suministro de N_2 se agotaría a medida que los seres vivos lo consumieran constantemente. Por lo tanto, se necesitaba una forma de restaurar N_2.

¿La solución? Microbios

Los microbios son los habitantes de nuestro planeta y desempeñan un papel crucial en el mantenimiento de la vida en la Tierra. En los océanos, el plancton mantiene el ciclo del carbono y las algas unicelulares llamadas diatomeas proporcionan una quinta parte del oxígeno de nuestra atmósfera (O_2). En la tierra y en los océanos, los microbios separan el N_2 y lo fijan en compuestos como el amoníaco (NH_3). [1] Otras bacterias toman NH_3 y lo convierten de nuevo en N_2 en lo que se llama el ciclo del nitrógeno. Las criaturas más diminutas de la Tierra mantienen su habitabilidad para todos nosotros.

El oxígeno libre (O_2) y el carbono (C) también son esenciales para la habitabilidad de la Tierra, y también tienen ciclos de refrescos que dependen de los microbios y las plantas. Gran parte del O_2 libre en la Tierra se produce por fotosíntesis en microbios autótrofos. (Los autótrofos producen moléculas orgánicas que contienen energía a partir de

moléculas inorgánicas; los heterótrofos hacen uso de alimentos que provienen de otros organismos). Los microbios autótrofos tienen el know-how de "reparar" el nitrógeno desmantelando los enlaces triples del N_2 atmosférico en NH_3 y otros compuestos útiles . Estos caballos de batalla microbianos también mantienen el equilibrio de muchos otros elementos atmosféricos esenciales. Sin ese equilibrio, la vida compleja no podría existir. No hay microbios, no hay otra vida.

Anammox y su química de cohetes

Las bacterias se ven a menudo como formas rudimentarias de la vida. Pero un vistazo a su estructura molecular es suficiente para convencernos de lo contrario. Las bacterias son extremadamente sofisticadas, completamente equipadas con muchas máquinas moleculares exquisitas.

Un grupo de bacterias muy extraño descubierto a principios de la década de 1990, llamado anammox [2] , proporciona un gran ejemplo de las características de alta tecnología de las bacterias. Según Laura van Niftrik y Mike Jetten, las bacterias anammox se encuentran en una amplia variedad de entornos, incluidas las zonas marinas con poco oxígeno, las aguas residuales de la planta de tratamiento, los sedimentos costeros y los lagos. [3] Resulta que estas bacterias son cruciales para la vida en la Tierra: se estima que contribuyen con el cincuenta por ciento de la producción de N_2 de los ambientes marinos, [4]resultando en la eliminación del nitrógeno fijo.

Cuando se descubrió, las bacterias anammox causaron un verdadero revuelo científico. Son actores importantes en el ciclo de nitrógeno biogeoquímico de la Tierra, y los científicos se preguntaron cómo una bacteria tan simple podría realizar una reacción que antes se consideraba imposible. [5] Anammox convierte NH_3 y NO_2^- en N_2 en condiciones anaeróbicas, es decir, en ausencia de O_2. Ahí es donde obtuvo su nombre: ANOerobic AMMonium OXidation. [6] Van Niftrick y Jetten observan que "las bacterias Anammox no se ajustan a las características típicas de las bacterias, sino que comparten características con los tres dominios de la vida, Bacteria, Archaea y Eukarya, lo que las hace extremadamente interesantes desde una perspectiva evolutiva". [7] Iría más allá y diría que la existencia de estas bacterias cruciales e inusuales es, de hecho, extremadamente difícil de explicar desde una perspectiva evolutiva.

¿Cómo cumple una bacteria anammox su indispensable misión de reponer nitrógeno? Utiliza ciencia espacial y algunas habilidades de síntesis orgánica altamente sofisticadas.

La bacteria tiene un orgánulo interno cubierto por una membrana de doble capa, nada peculiar en las células procariotas. La mayor sorpresa fue lo que había *dentro* del orgánulo. En el interior, los científicos encontraron hidracina, que tiene una variedad de usos, ¡incluso para combustible de cohetes! [8] Anammox de alguna manera fabrica, almacena y usa un líquido altamente tóxico, corrosivo y explosivo.

¿Puedes imaginar a una criatura evolucionando paso a paso para almacenar estas cosas dentro de sí misma? Imagine intentar sintetizar hidracina pura mediante prueba y error dentro de una bacteria. ¡No tardaría mucho en matarlo! ¿Cómo desarrollaría una bacteria un protocolo de síntesis de hidracina sin toda la maquinaria para mantener y usar de manera segura la hidracina? ¿Es plausible que una bacteria haya ganado la capacidad de usar hidracina pura, tóxica y explosiva mediante un proceso paso a paso que no tiene forma de predecir las ventajas futuras del veneno? ¿Por qué una bacteria proto-anammox, que antes no había usado hidracina y sobrevivió bien sin ella, arriesga su vida para desarrollar la capacidad de producir y almacenar hidracina antes de que le sirva de algo?

Otra sorpresa es que las bacterias anammox almacenan hidracina en compartimentos internos llamados anammoxosomas. [9] Obviamente, las bacterias anammox deben manejar esta molécula explosiva con el mayor cuidado. El análisis químico y microscópico de la membrana anammoxosome de doble capa, que encierra la hidrazina, revelaron otra sorpresa: La membrana se compone de lípidos únicas y extrañas hechas de "ladderanes." [10] Estos son estructuras químicas altamente sofisticados que muchos químicos sintéticos ni siquiera intentar para hacer.

Un ladderano típico es el ácido pentacicloanammóxico, que se compone de cinco anillos fusionados de ciclobutano. Se asemeja a una escalera y contiene estructuras de anillos cuadrados concatenados formados por anillos de cuatro carbonos fusionados. Los anillos concatenados de cuatro miembros son uno de los más difíciles de hacer porque la cinética y la termodinámica funcionan en contra de ellos. Pero las bacterias anammox parecen haber omitido las clases de síntesis orgánica y seguir adelante y construirlas de todos modos.

Pero ¿por qué ir a todo el esfuerzo? Parece que las bacterias anammox solo utilizaron la hidracina como agente para convertir NH_3 y NO_2^- en N_2 en ausencia de O_2. Entonces, ¿por qué una bacteria sintetizaría N_2, un gas casi inerte que es prácticamente inútil para la vida como tal? Las bacterias Anammox viven en todo el mundo. Son abundantes en los océanos. Emprenden esta tarea casi imposible simplemente para producir N_2. Pero debido a este "esfuerzo de caridad", regulan el ciclo N_2 y mantienen la proporción O_2 / N_2 de la atmósfera terrestre. [11] Esta pequeña máquina nanomolecular mantiene el N_2 en el equilibrio necesario para que sobrevivan todas las formas de vida en nuestro planeta. En esencia, este pequeño microbio utiliza la ciencia espacial [12] para hacer posible y sustentable la vida en la tierra.

Y apenas estamos empezando a entender esta extraordinaria bacteria. El mecanismo enzimático que produce la hidracina también debe ser increíble. Según lo descrito por Andreas Dietl y sus colegas, "La estructura cristalina implica un mecanismo de dos pasos para la síntesis de hidracina: una reducción de tres electrones de óxido nítrico a hidroxilamina en el sitio activo de la subunidad γ y su posterior condensación con amoníaco". Los autores del artículo de *Nature* continúan observando un sorprendente paralelo: "Curiosamente, el esquema propuesto es análogo al proceso de Raschig utilizado en la síntesis de hidracina industrial". [13]

Entonces, otra vez nos encontramos con que otra de nuestras invenciones cuidadosamente planeadas solo está siguiendo los pasos de la naturaleza. El gas N_2 que se empareja con O_2 en nuestra atmósfera y es esencial para la vida en la Tierra es, como lo dice otro artículo, "un subproducto de una nanomáquina de precisión exquisitamente diseñada que sabe mucho sobre la química orgánica redox y el manejo seguro del combustible de cohetes." [14]

El mundo de los microbios se vuelve más sofisticado con cada descubrimiento, manifestando cada vez más "sorpresas", es decir, evidencia de previsión. Recientemente, descubrimos otra maravilla microbiana: el enigmático comammox, [15] o "oxidante de amoníaco completo". Esta bacteria se puede encontrar en casi todas partes y hace un trabajo aún más espectacular que el anammox. Comammox realiza la nitrificación completa por su cuenta, un hito de la microbiología. Se sabe desde hace mucho tiempo que dos clases diferentes de microbios nitrificadores cooperan para llevar a cabo el proceso de nitrificación en el que el NH_3 se oxida a NO_2^-, que posteriormente se oxida a NO_3^-. Pero el comammox no comparte trabajo en la nitrificación. Cataliza ambos pasos de nitrificación, realiza la oxidación completa del amoníaco y, por lo tanto, conserva la energía.

Es difícil escapar a las implicaciones de todo esto: la necesidad de mantener una atmósfera adecuada para la vida tuvo que ser anticipada desde el principio. Y una variedad de microbios, equipados con un sofisticado arsenal de productos químicos y capacidades, debían proporcionarse para satisfacer esa necesidad.

Issus: ¿El inventor de los engranajes?

Para los insectos que no vuelan, la capacidad de saltar alto, rápido y con gran precisión es esencial para su supervivencia. Para evitar ser comido, un insecto no volador debe poder saltar desde el momento en que nace. No debería sorprender, por lo tanto, que los pequeños insectos estén entre los mejores saltadores de este planeta.

Pero los insectos ligeros con cuerpos pequeños que dan grandes saltos plantean un gran problema de ingeniería. Para hacer las cosas más difíciles, los insectos tienen pares de patas, por lo que la acción del salto debe estar perfectamente coordinada, las patas empujan hacia adelante más o menos simultáneamente. No hay mucho espacio para ensayo y error.

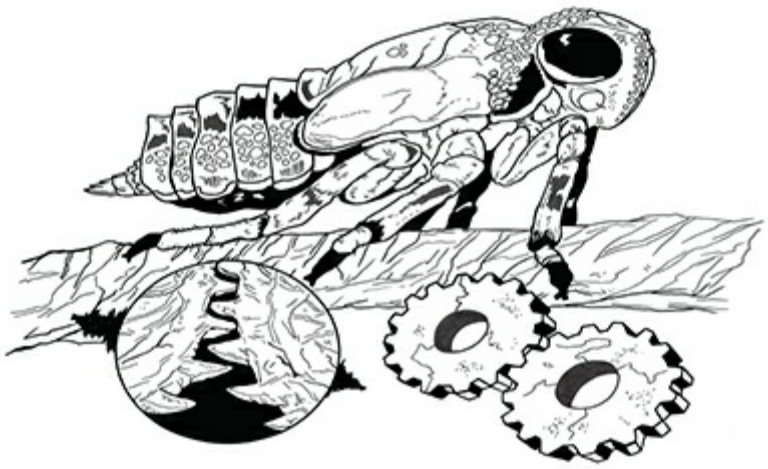

Figura 5.1. Los planeadores ninfálidos, insectos del tamaño de pulgas en el género *Issus* , utilizan engranajes exquisitamente diseñados para sincronizar el movimiento catapult de sus piernas para el salto de precisión.

¿Cómo se las arreglan estas criaturas? Lo que sigue es una estrategia particularmente extraordinaria.

En 2013, dos biólogos de la Universidad de Cambridge, Malcolm Burrows y Gregory Sutton, estaban estudiando a un pequeño insecto, un ninfálido que se encontraba en el género *Issus* (Figura 5.1), una criatura que se encuentra en toda Europa y el norte de África. Lo que descubrieron suena como algo salido de las páginas de la sección Novedades de *Popular Mechanics* . Este pequeño insecto salta utilizando *engranajes entrelazados* en sus trocánteres traseros, que conectan las piernas con el equivalente de insecto de una cadera. [16]

Usando esta tecnología miniaturizada, estos diminutos insectos, apenas más grandes que una pulga, mueven sus piernas en una coordinación casi perfecta. Debido a que ambas piernas se balancean lateralmente, si una se extendiera una fracción de segundo antes que la otra, el insecto terminaría dando vueltas y se convertiría en alimento fácil. Pero los engranajes están tan bien diseñados que las criaturas pueden saltar rápido, lejos y recto.

Sus engranajes mecánicos cuticulares se entremezclan y giran con gran precisión, coordinando las patas. Cada engranaje gira a treinta millonésimas de segundo del otro a más de 33,000 RPM (revoluciones por minuto). Los motores de autos deportivos de producción con las más altas revoluciones solo alcanzan las 10,000 RPM.

Los engranajes también montan sincrónicamente las patas antes de disparar hacia adelante, utilizando dientes asimétricos (mejores que simétricos). Burrows y Sutton explicaron que "el registro cercano entre los engranajes aseguró que ambas patas traseras se movieran a las mismas velocidades angulares para propulsar el cuerpo del insecto sin rotación de giro (girando alrededor de un eje vertical). [17] *Issus*infantil puede saltar cien veces su longitud y a velocidades de hasta 3,9 metros por segundo.

Pero el riesgo de romper un dispositivo tan pequeño de alta velocidad es alto. Para compensar este riesgo, los engranajes son reemplazados constantemente por otros nuevos en el insecto juvenil. Como Burrows y Sutton sugirieron, los *Issus* juveniles desarrollan repetidamente nuevos engranajes a medida que crecen, de modo que si el equipo se daña, solo tienen que sobrevivir durante un corto período hasta que llegue un nuevo par no dañado.

Para el adulto más pesado, los engranajes se cambian por un dispositivo más robusto adecuado para el tamaño más grande del adulto: un mecanismo de alto rendimiento basado en la fricción. Esto también sugiere previsión.

En la actualidad, parece que el planificador de ninfálido juvenil *Issus* es la única criatura que utiliza engranajes mecánicos dentados entrelazados para sincronizar perfectamente sus extremidades para saltos de larga distancia. Hasta este descubrimiento, nunca antes se había encontrado que los engranajes permitieran movimientos de saltos balísticos. Si la evolución de alguna manera creó esta maravilla de la ingeniería, parece haberlo hecho como una sola vez.

Al analizar el origen más probable para los engranajes *Issus* , Sutton consideró correctamente las dos opciones científicamente posibles, pero luego seleccionó la incorrecta, la que carece de la capacidad demostrada para diseñar tales maravillas. Él escribió: "Estos engranajes no están diseñados; se han desarrollado, lo que representa una alta velocidad y la maquinaria de precisión evolucionó para la sincronización en el mundo animal. " [18] Como es habitual en tales afirmaciones, no se sigue de qué manera este sistema de salto basado en engranajes pudo haber evolucionado un pequeño paso funcional en un tiempo, un camino esencial si alguna forma de evolución ciega darwiniana lo produjo. Pero no importa; Al parecer, se espera que asumamos ese escenario como un dogma establecido de todos modos.

En su lugar, razonemos a través de la reclamación. Supongamos, por el bien de la discusión, que *Issus* existió y pudo vivir el tiempo suficiente para escapar de la extinción sin el equipo juvenil o un mecanismo de fricción adulto. ¿Por qué correría el riesgo de desarrollar dos nuevos mecanismos de salto distintos? Debido a que la evolución funciona en pequeños pasos, primero debe crear un engranaje imperfecto o un sistema de fricción. ¿Supongamos que cambia las cosas y le da los engranajes al adulto y el mecanismo de fricción al juvenil? El pobre mutante *Issus* probaría esta nueva función, solo para descubrir que no funcionó.

E incluso si la evolución seleccionara la edad correcta para cada función, *Issus* infantil descubriría que el nuevo material del engranaje era demasiado suave, o que el número y el espaciado de los dientes estaban apagados, o que el empuje era demasiado hacia la derecha o hacia la izquierda, haciendo que la criatura se salga de control y se estrelle. Hay muchas cosas que podrían salir mal. Un sistema de engranajes imperfecto, en este caso, no es bueno en absoluto.

¿Y que vino primero? ¿Engranajes para el juvenil, o el sistema de fricción más adecuado para el *Issus* adulto ? Necesitaría ambos, ya que la criatura siempre tendría que ser capaz de saltar para sobrevivir, como joven y como adulto. Planee y entregue un par de sistemas de saltos exquisitamente diseñados desde el principio, uno para el juvenil y otro para el adulto, o *adios* , pequeño insecto.

Sin lugar a dudas, los engranajes *Issus* son un ejemplo de alta tecnología. Una última pieza de evidencia para llevar a la práctica: el riesgo de tales engranajes de alta tecnología y exigentes de más de 33,000 RPM es grande: si se daña un diente, se pierde la efectividad del engranaje diseñado. Para minimizar el riesgo, los dientes de ochenta millonésimas de ancho están equipados con curvas fileteadas en la base. Los humanos eventualmente inventaron técnicas similares para obtener más torque y reducir el desgaste con el tiempo, pero la naturaleza llegó primero.

Los engranajes funcionales de cualquier tipo son dispositivos ingeniosamente diseñados. Vienen en muchas formas y se utilizan para muchos propósitos. Son una piedra angular de la tecnología moderna, presente en muchos tipos de maquinaria, automóviles y bicicletas. En lo que respecta a la historia de la humanidad, parece que nadie sabe a ciencia cierta quién inventó los engranajes mecánicos, pero sí sabemos que los griegos los usaron en la computadora analógica más antigua conocida del mundo, el mecanismo Antikythera, que ahora se cree que se usó para registrar Los movimientos del sol, la luna y los planetas visibles a simple vista. [19]Cuando en 1900 los buzos griegos descubrieron este antiguo mecanismo, el mecanismo tecnológico más avanzado hasta ahora descubierto desde la antigüedad, y vieron los engranajes, inmediatamente lo reconocieron como el producto de una mente inteligente. Si ningún otro tipo de causa tiene la capacidad demostrada para generar tales maravillas, ¿por qué deberíamos responder de manera diferente cuando encontramos engranajes exquisitamente elaborados unidos a las patas de un insecto saltarín, particularmente cuando las historias imaginativas de la evolución ciega de tales maravillas naturales van a mendigar? para el detalle creíble?

Tyson empaca un ponche

En 1998, Tyson asombró al mundo al romper un agujero en la pared que lo aprisionaba en Inglaterra, usando solo sus propias manos. [20] Tyson pronto estuvo en todas las noticias. Pero no, no estamos hablando del boxeador de peso pesado Mike Tyson. Este Tyson es una pequeña criatura oceánica que rompió el vaso de su tanque de un cuarto de pulgada de grosor en el Centro de Vida Marina Great Yarmouth de Inglaterra. Libra por libra, este Tyson es imbatible cuando se trata de lanzar los golpes más rápidos y potentes.

Tyson era un camarón mantis (*Odontodactylus scyllarus*). Esta especie usa apéndices modificados en clubes para generar un golpe extremadamente rápido para romper conchas. [21] Estos punzones tan potentes requieren tanto almacenamiento de energía como

un sistema de liberación, en forma de un mecanismo de resorte exoesquelético en forma de silla de montar.

Los científicos han estudiado las huelgas utilizando equipos de imágenes de alta velocidad. Descubrieron que el camarón Mantis ofrece uno de los golpes más rápidos bajo el agua en la Tierra, alcanzando una velocidad máxima de cincuenta millas por hora en menos de 800 microsegundos, y generando una fuerza que alcanza cerca de 2,500 veces el peso corporal del animal. [22] Los golpes son tan rápidos y tan poderosos que producen pequeños destellos de luz al reducir la presión del agua circundante tanto que hierve. Pequeñas burbujas colapsan cuando la presión del agua se normaliza, liberando una enorme cantidad de energía por cavitación. "El club alcanza su objetivo en tan solo tres milésimas de segundo", escribe Ed Yong, "y ataca con la fuerza de una bala de rifle". [23] Y gestiona esto no en el aire sino bajo el agua, es decir, mientras trabaja contra la resistencia sustancial impuesta por el agua.

Es una tecnología elegante y moderna. Como la Dra. Sheila Patek, coautora de un artículo [24] sobre camarones, le dijo a la *BBC* : "Al igual que un arquero, el camarón mantis acumula energía elástica antes del golpe y lo libera con un pestillo". [25] (Figura 5.2)

Yong elabora. "Una vez que el brazo está inclinado, un trinquete lo sujeta firmemente en su lugar", escribe. “Los músculos grandes en la parte superior del brazo se contraen y acumulan energía. Cuando se suelta el pestillo, toda esta energía se libera a la vez y el brazo inferior se lanza hacia adelante ". [26]

Patek, TI Zack y T. Claverie señalan además, “Las formas y patrones de mineralización notables que caracterizan el apéndice rapaz del camarón mantis revelan un sistema de amplificación de potencia mecánica altamente integrado basado en el almacenamiento de energía elástico del exoesqueleto” [27.]

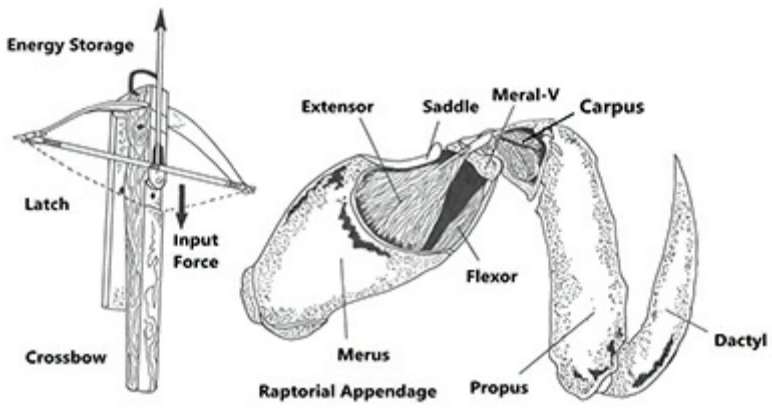

Figura 5.2. El sistema de apéndice tipo club de camarones mantis funciona como una ballesta, y ofrece uno de los golpes más poderosos de la Tierra. En proporción a su tamaño corporal, supera al ex campeón de peso pesado boxeador Mike Tyson en un orden de magnitud.

Una característica clave de este potente jab es una pequeña estructura en el brazo que recuerda a una silla de montar, que también se comprime durante la carga y funciona como un resorte, almacenando energía adicional. Cuando se suelta el pestillo, la estructura similar a una silla de montar se expande y proporciona un empuje adicional para el palo, acelerándolo a más de 10,000 g de fuerza, [28] lo suficientemente potente como para romper el vaso de un tanque de camarones. El diseño es similar al utilizado por los ingenieros humanos.

Pero, ¿cómo puede el camarón mantis dar golpes de manera tan rápida y poderosa sin lastimarse? El camarón viene equipado con su propio guante de boxeo de alta tecnología.

Sólo recientemente hemos descubierto esta maravilla de la ingeniería. [29] La región de impacto frontal del palo es muy gruesa y está hecha de un material similar a un hueso: cristales de hidroxiapatita. En ángulo, perpendicular a la superficie, cada cristal forma una columna que proporciona una alta resistencia a la compresión y puede tomar hasta cuatro mil millones de pascales de presión. (La presión del aire al nivel del mar es de aproximadamente 100,000 pascales). ¿Cómo se compara esa estructura con la tecnología humana? Forjados a temperaturas extremadamente altas de más de 2,700 ° F, los análogos hechos por el hombre, como la cerámica, pueden tomar solo dos o tres mil millones de pascales de presión.

Junto a la región de impacto están las fibras de proteínas diseñadas ingeniosamente en capas apiladas. "En cada una, las fibras son todas paralelas, pero cada capa se rota ligeramente de la que está debajo para producir una estructura helicoidal", escribe Yong. "Finalmente, el espacio entre las fibras está lleno de minerales dispuestos al azar", evitando que las grietas se propaguen a través del palo. El club del camarón mantis está envuelto más en fibras de quitina, comprimiendo toda la estructura para reducir la velocidad de las grietas, "como un boxeador que coloca cinta alrededor de sus puños", como lo describe el Dr. David Kisalius. [30]

La teoría evolutiva afirma que el camarón mantis desarrolló todas estas características para satisfacer las necesidades especiales planteadas por su entorno. *El* escritor de ciencia de *National Geographic* Ed Yong explica: "Algunos científicos creen que la naturaleza beligerante de los camarones mantis evolucionó porque las grietas de roca que habitan están fuertemente disputadas. Esta competencia también ha hecho que estos animales sean más inteligentes que el camarón promedio. Son los únicos invertebrados que pueden reconocer a otros individuos de su especie y pueden recordar el resultado de una lucha contra un rival hasta por un mes ". [31]Todo lo que hay que decir es que si el puñetazo fuerte y el ser inteligente en un vecindario difícil son útiles, la evolución vendrá al rescate con golpes de poder y un aumento del coeficiente intelectual. Es una buena historia, pero no explica cómo el pequeño camarón en realidad desarrolló toda esta tecnología y conocimiento por prueba y error no guiado, una pequeña mutación funcional a la vez. Todas las piezas del mecanismo de perforación tenían que estar en su lugar para que funcionara, por lo que es razonable dudar de que tal camino evolutivo sea realmente posible.

Plantas carnívoras

Las plantas carnívoras (Figura 5.3) son intrigantes, extrañas y difíciles de no amar a primera vista. Estas plantas utilizan un arsenal de trampas móviles con ingeniería magistral, sensores químicos y eléctricos y químicos digestivos para matar y consumir arañas, insectos, protozoos, crustáceos, lagartos, ratones, ratas y varios otros pequeños invertebrados y vertebrados. Cada una de estas plantas carnívoras gestiona todo esto utilizando señuelos y un dispositivo de trampa, junto con un mecanismo y un arsenal de productos químicos para facilitar la digestión completa de la presa. [32]

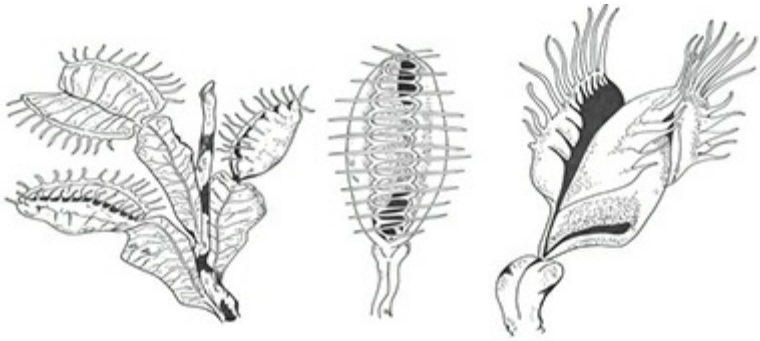

Figura 5.3. La planta carnívora, el atrapamoscas de Venus, con su trampa abierta, cerrada y durante la fase de digestión.

Como señalan Aaron Ellison y Nicholas Gotelli, Charles Darwin fue pionero en la investigación moderna de plantas carnívoras con su obra de 1875 *Insectívoras Plantas* . Allí Darwin aplicó su idea de homología (que los biólogos evolutivos modernos llaman "homoplasia") para resaltar lo que consideraba una convergencia evolutiva entre taxones aparentemente no relacionados, y fue el primero en proporcionar descripciones de las estructuras que utilizan ocho géneros de plantas para atrapar insectos. . [33]

Como informó Darwin, estas plantas son impresionantes no solo por poder capturar presas sino también por emplear enzimas específicas para disolver las proteínas animales y luego absorberlas. Si no hubiera enzimas allí, no habría ningún uso para la trampa. Aunque Darwin describió todo esto hace casi 150 años, desde entonces ningún trabajo ha demostrado *cómo* estas maravillosas criaturas podrían haber desarrollado sus funciones anatómicas, eléctricas y bioquímicas complejas y altamente sincronizadas.

Las plantas carnívoras utilizan hojas altamente especializadas que funcionan como trampas mecánicas. "Muchas trampas atraen a la presa con colores brillantes, nectarios extra-florales, pelos guía y / o extensiones de hojas", escribe John Brittnacher. “Una vez capturada y asesinada, la presa es digerida por la planta y / o los organismos asociados. La planta luego absorbe los nutrientes disponibles del cadáver. La mayoría de las plantas

carnívoras crecerán sin consumir presas, pero crecen mucho más rápido y se reproducen mucho mejor con los nutrientes derivados de sus presas ". [34]

La atrapamoscas de Venus, *Dionaea muscipula* , es la planta carnívora más famosa. [35] En su hábitat silvestre en el sureste de los Estados Unidos, en su mayoría come moscas, pero consumirá cualquier cosa viva que encaje en la trampa. Como Rainer Hedrich y Erwin Neher explican, la planta emplea mecanorreceptores altamente sensibles, y "al entrar en contacto con una presa, se activa un potencial de acción que, a través de una red eléctrica, comparable al sistema nervioso de los vertebrados, cierra rápidamente su trampa bivalva". [36] (Figura 5.4) [37]

La trampa se cierra automáticamente, pero luego la planta sigue una secuencia cuidadosamente organizada de activación genética para cerrar la trampa, digerir la presa y absorber los nutrientes. Toda esta secuencia de eventos debe suceder en perfecta sincronía. La planta toma decisiones paso a paso sobre la activación al contar los estímulos en sus órganos sensoriales.

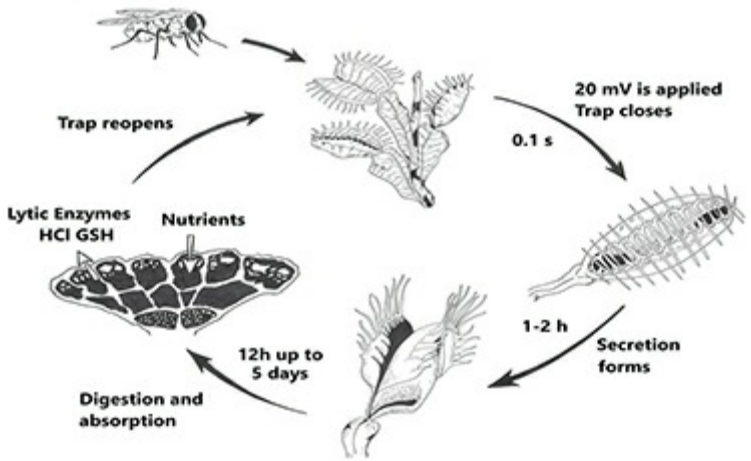

Figura 5.4. Un sorprendente ciclo de eventos ocurre cuando la trampa de Venus abre su trampa bivalva. Detecta su presa a través de quimiosensores eléctricos, la captura cerrando rápidamente la trampa, digiere la presa utilizando enzimas selectivas y bebe el jugo antes de volver a abrir la trampa.

Los científicos evolutivos no se han atrevido a proponer que el atrapamoscas de Venus evolucionó estas habilidades de tipo animal al tomar genes de su presa, una hazaña casi imposible ya que la presa está completamente digerida para el alimento. Más bien, han sugerido las funciones genéticas modificadas y reorganizadas de la planta que comparten todas las plantas. Pero esto también se encuentra más allá del alcance de un proceso ciego que no puede predecir las necesidades futuras.

Carnivory se encuentra en el reino animal y tiene más sentido allí. Por eso es tan intrigante encontrar este comportamiento en la rama verde del árbol de la vida,

especialmente si se considera que la mayoría de las plantas parecen prosperar con solo la fotosíntesis. Si carnivory evolucionó aquí para proporcionar más nutrientes, ¿por qué la selección natural recompensaría a las plantas, aparentemente capaces de beneficiarse de más nutrientes, por gastar algunos de los nutrientes preciosos que ya tenían para desarrollar una nueva herramienta de suministro de nutrientes no útil aún y recompensa? ¿Estas plantas supuestamente evolucionan por sus esfuerzos aparentemente remotos en innumerables generaciones que se extienden durante largas edades? Es decir, si la nutrición de la acción carnívora era solo una bonificación no esencial para la flor,

Si primero evolucionó para la protección y luego evolucionó para proporcionar nutrientes adicionales, tenemos el mismo problema: ¿por qué gastar toda la energía en un sistema de protección funcional, antes de que el sistema de protección funcionara? La selección natural no mira hacia el futuro, recuerde. Se trata de "¿Qué has hecho por mí últimamente?"

Este desafío para el darwinismo solo se ve agravado por el hecho de que, si efectivamente evolucionaron de forma carnívora, estas plantas tenían que hacerlo "independientemente, al menos seis veces en cinco órdenes de angiospermas", como explican Ellison y Gotelli. [38]

Tal vez uno podría conceder el milagro evolutivo una sola vez, pero seis veces?

Se cree que otras plantas, como *Darlingtonia* y algunas especies de *Nepenthes* , han perdido la capacidad de digerir las presas. Quizás el sistema digestivo funcionó bien, pero luego la planta se encontró en un ambiente lo suficientemente rico en bacterias y otros organismos que una de estas plantas que nace con un sistema digestivo defectuoso y que funciona mal podría manejarse bien. En tales situaciones, la planta podría confiar en las bacterias y otros organismos que se encuentran ahora en su entorno para digerir los nutrientes de la presa que capturó.

En su sitio web, la International Carnivorous Plant Society explica esto de la siguiente manera: "Para decirlo de manera poco científica, ¿por qué una planta debe pasar por la molestia de digerir la presa cuando otros organismos lo harán por ellos?" O científicamente, si no hay una ventaja selectiva para gastar la energía para la digestión, las mutaciones se acumularán eliminando la digestión ". [39]

Tal vez sea así, pero eso es la devolución, rompiendo un sistema existente. Y como cualquiera que haya tenido hijos sabe, cualquier niño de dos años puede lograrlo. El darwinismo necesita explicar la evolución de los nuevos sistemas, las nuevas maravillas de la ingeniería, no la devolución de los existentes. [40]

Alguien podría quejarse de que solo se necesita un poco de imaginación para aceptar la posibilidad de que tales plantas evolucionen. Pero realmente imaginar una vía evolutiva viable significa describir una serie de pasos viables desde el principio hasta la trampa completa y el sistema digestivo. Creer que algo sucedió no es lo mismo que imaginar cómo sucedió. Nadie se ha acercado ni remotamente a hacer esto último, y no por falta de intentos.

¿Se nos permite imaginar, considerar, otras causas posibles, causas con la capacidad demostrada para ensamblar nuevas maravillas de ingeniería? Continuemos y consideremos otra posibilidad, ya sea que tengamos permiso o no: la construcción del sistema requería una previsión de lo que terminaría dentro de la trampa para sincronizar la construcción de un sistema digestivo adecuado. Se requería la previsión de un sistema digestivo en funcionamiento para molestar la construcción de la trampa sofisticada. Y se requirió previsión para construir cada uno de los dos sistemas individualmente.

Un poder único

Es fácil descartar algunos seres vivos como simples y primitivos. Pero una vez que te acercas, usando microscopios y bioquímica potentes, descubres que incluso los aspectos minúsculos de la vida son intrincados más allá de lo imaginable. El microscopio abre todo un mundo de estructuras complejas e imponentes que resuelven ingeniosamente lo que de otra manera serían problemas sin salida. Y a medida que avanzamos en la escala de tamaño a cosas como el planeador ninfálido, el camarón Tyson y las plantas carnívoras, encontramos muchas más de estas soluciones inteligentes.

Solo hemos tocado la muestra más pequeña de tales soluciones en los ejemplos explorados en este capítulo. Hemos sumergido un dedo del pie en un océano de ingenio, si lo desea: el ingenio que en nuestra experiencia universal está unido a un poder exclusivo de los agentes inteligentes: la previsión.

6. AVES: UN ESTUDIO DE CASOS SOBRE PROSPECTIVA

El mundo viviente manifiesta numerosas soluciones de ingeniería combinadas con una química ingeniosa mucho más allá del alcance de los mecanismos evolutivos no guiados. Un ejemplo particularmente llamativo: las aves. Hay muchos aspectos de la bioquímica y la arquitectura de las aves en los que podríamos centrarnos en sugerencias de previsión, planificación y maravilloso ingenio. Aquí nos enfocaremos en solo dos aspectos: navegación de aves y reproducción de aves.

Sistema GPS de aves

Las aves migratorias tienen capacidades fuera de este mundo. Se ha informado que algunas aves, como el vencejo común (*Apus apus*, Figura 6.1), vuelan durante diez meses, durante los cuales rara vez y solo aterrizan brevemente mientras emigran de Europa a África y regresan. [1] Pero quizás aún más impresionante: vuelan sobre largas distancias y paisajes variados y cambiantes sin perderse. Es como si tuvieran un GPS incorporado.

Un GPS humano (sistema de posicionamiento global) se basa en el ingenio de una mente y las señales de radio de los satélites artificiales que orbitan la Tierra. Al integrar las señales de varios satélites, un GPS puede identificar su ubicación en la Tierra, a veces dentro de unos pocos centímetros. Los científicos han sabido durante décadas que las aves tienen un GPS basado en un principio más elegante: detectan el campo magnético de la Tierra. [2] El fenómeno se llama magnetorrecepción.

Las aves migratorias navegan utilizando esta brújula magnética, pero incluso las aves no migratorias tienen este sentido y navegan utilizando su brújula magnética interna. Una vez se propuso que el hierro en los picos de las aves les proporcionaba, en efecto, una brújula magnética. Ahora parece que el sistema de sensores es mucho más sofisticado: las moléculas especiales en sus ojos permiten a las aves *ver* líneas del campo magnético de la Tierra (Figura 6.2) y usarlas como guías de navegación.

Figura 6.1. El vencejo común (*Apus apus*) vuela durante meses en su viaje de Europa a África sin perderse. Parte de su secreto puede ser una molécula de criptocromo conocida como Cry4, tan avanzada que puede aprovechar el entrelazamiento cuántico.

Las moléculas especiales son proteínas altamente sofisticadas llamadas criptocromos. La mayoría de los criptocromos son sensibles a la luz y están involucrados en el "reloj circadiano" que regula los ciclos metabólicos y conductuales de las 24 horas en los animales. Pero la evidencia reciente sugiere que un criptocromo, denominado Cry4, está involucrado en la magnetorecepción en las aves. [3]

¿Cómo podría Cry4 detectar líneas de campo magnético? Cuando es energizado por la luz, Cry4 separa el electrón de uno de sus pares de electrones, formando lo que se llama un "par radical". (En los vertebrados, los criptocromos son las únicas moléculas que hacen esto.) En un átomo o molécula, un "orbital" es un estado cuántico específico que define la energía, el giro y la ubicación probable de un electrón en relación con el núcleo. Normalmente, cada orbital contiene un par de electrones con espines opuestos y campos magnéticos dirigidos de manera opuesta. Un radical se forma cuando una especie química soporta un electrón no pareado, y un par radical se forma cuando tiene dos electrones no apareados que están conectados por lo que se conoce como entrelazamiento cuántico, uno de los fenómenos más extraños descubiertos por la física moderna.

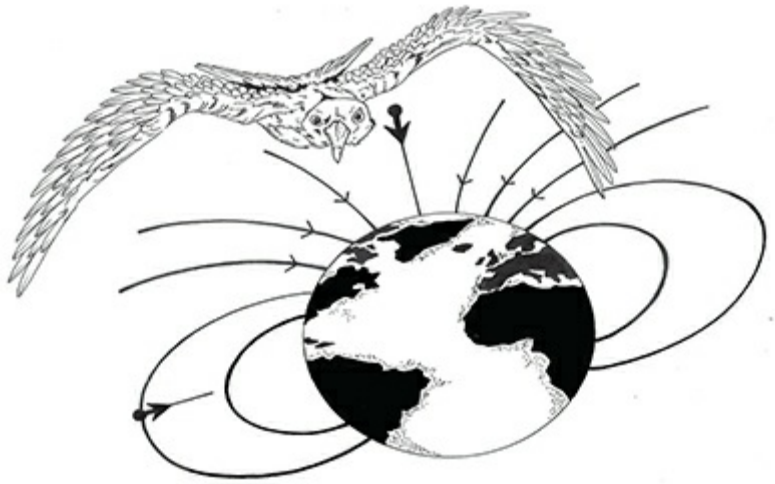

Figura 6.2. El vencejo común puede, en algunos casos, volar durante meses sin aterrizar, y navega observando las líneas del campo magnético de la Tierra, aparentemente utilizando la molécula de proteína Cry4 de vanguardia en sus ojos. También impresionante, puede volar y navegar mientras duerme.

Como lo describió elegantemente el Dr. David Kaiser, "El enredo se refiere al comportamiento de partículas diminutas, como los electrones, que han interactuado en el pasado y luego se han separado. Haga cosquillas a una partícula aquí, midiendo una de sus propiedades (su posición, momento o 'giro') y su compañero debería bailar, instantáneamente, sin importar qué tan lejos haya viajado la segunda partícula ". [4]

Suena a ciencia ficción, ¿no? Albert Einstein, Boris Podolsky y Nathan Rosen dedujeron este fenómeno de la teoría de la mecánica cuántica, pero lo dudaron, concluyendo que la teoría, por lo tanto, debe ser incompleta. [5] Pero el entrelazamiento cuántico se demostró posteriormente experimentalmente. En 2013, un equipo de científicos chinos demostró que la comunicación entre dos objetos enredados no podía ser inferior a 10.000 veces la velocidad de la luz. [6]

Se sabe desde hace décadas que los pares de radicales se ven afectados por los campos magnéticos en condiciones de laboratorio. [7] En 1996, los químicos Brian Brocklehurst y Keith Alan McLauchlan sugirieron que el mismo fenómeno podría ocurrir en los sistemas biológicos. [8] Y en el 2000, los biofísicos Thorsten Ritz, Salih Adem y Klaus Schulten propusieron que el fenómeno podría ser la base para la magnetorecepción en las aves. [9]

Cuando se forma un par radical en una proteína Cry4 activada por la luz, los dos miembros del par están a solo unas mil millonésimas de metro de distancia entre sí. Pero incluso a esta pequeña distancia molecular, los dos electrones no apareados podrían verse afectados de manera diferente por el campo magnético de la Tierra. Teóricamente, muchos de estos pares enredados podrían producir una imagen en el ojo del ave que le permita navegar.

Un problema para esta propuesta es que los pares radicales conectados por el entrelazamiento cuántico tienen una vida muy corta. En un laboratorio, la mejor molécula para mantener el entrelazamiento cuántico es un "Buckminsterfullerene", llamado así porque se asemeja estructuralmente a las cúpulas geodésicas diseñadas por Buckminster Fuller en la década de 1940. Estas hermosas moléculas basadas en carbono también se denominan "buckyballs" o "fullerenos". Dentro de un fullereno a temperatura ambiente, se puede mantener un par de radicales enmarañamiento cuántico durante unos ochenta microsegundos.

En 2011, un equipo de físicos usó la "teoría de la información cuántica y el modelo de 'par radical' 'ampliamente aceptado para analizar las observaciones experimentales recientes de la brújula aviar'. El equipo concluyó que el enredo cuántico en el ojo del ave dura unos cien microsegundos," superando las duraciones logradas en los mejores sistemas moleculares artificiales comparables. " [10]

El físico Simon Benjamin, miembro del equipo, puso esto en perspectiva al comparar la proteína Cry4 con un fullereno. "¿Cómo puede un sistema vivo haber evolucionado para proteger un estado cuántico también, no, mejor, de lo que podemos hacer en el laboratorio con estas moléculas exóticas?", Preguntó. "El ave, sin embargo funciona, lo que sea que esté allí, de alguna manera está mejor que nuestra muy hermosa molécula especialmente diseñada. Eso es asombroso ". [11]

Si un ave navega a través del campo magnético de la Tierra utilizando pares de radicales y entrelazamientos cuánticos, es improbable suponer que una habilidad tan sorprendente evolucionó un pequeño paso funcional a la vez. El ave habría necesitado no solo las ingeniosas moléculas magnéticamente sensibles como sensores, sino también los canales para transmitir señales de los sensores a la región derecha del cerebro. Y el cerebro habría necesitado el aparato para interpretar y responder adecuadamente a esa información específica. Para proporcionar una ventaja funcional, todo el sistema "fuera de este mundo" tuvo que implementarse de una vez. Parece, por lo tanto, como una vez que Fred Hoyle llegó a la conclusión de nuestro universo y nuestra vida, que un "superintellect", capaz de prever, y de anticipar descubrimientos científicos, se ha "mezclado" con la física cuántica, junto con la química y la biología.[12]

Huevos De Aves

El oxígeno molecular (O_2) es necesario para la vida casi desde el momento de la concepción para convertir los nutrientes en energía. No O_2, no hay vida. Un bebé humano necesita O_2 incluso antes de que los pulmones comiencen a funcionar. A medida que el óvulo humano fertilizado crece dentro del útero de la madre, la madre le proporciona al bebé suficiente O_2 a través del cordón umbilical.

Un embrión de ave, en contraste, no se desarrolla en el vientre de su madre. Está totalmente separado de su madre y aislado dentro de una cápsula: el huevo. Desde el

exterior, un huevo se parece más a un ataúd que a una cuna, encerrado por una cáscara dura y sellada de carbonato de calcio ($CaCO_3$). Pero un huevo (Figura 6.3) es mucho más complejo de lo que parece. [13]

Pero los huevos, por supuesto, no son ataúdes; Son cunas autocontenidas, llenas de trucos extraños y maravillosos para proporcionarle al polluelo todo lo que necesita, desde protección mecánica hasta un paquete de alimentos finamente afinado (la yema y la clara de huevo).

Un huevo es como una nave espacial que contiene todo lo que necesita, con una excepción: O_2. A primera vista, la muerte por asfixia parece inevitable. Pero el pajarito se queda adentro, madurando bien, durante semanas. ¿Cómo se obtiene el oxígeno? ¿Y cómo expulsa el dióxido de carbono (CO_2) que resulta de convertir los nutrientes en energía? Si se acumulara demasiado CO_2 en el interior, asfixiaría al bebé animal. ¿Cómo el pollito obtiene O and in y CO_2 de manera selectiva y eficiente? NPR tiene un breve video en línea sobre el tema que recomiendo ampliamente. [14] Aquí resumiremos mucho de lo que se describe y describe allí.

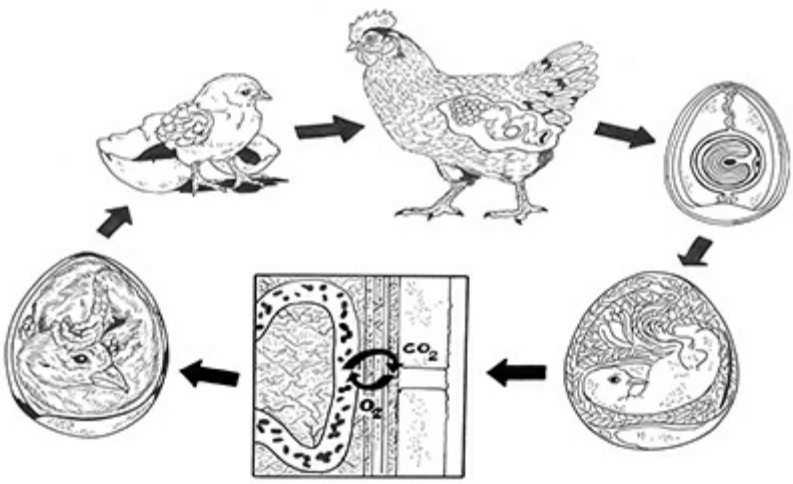

Figura 6.3. La biología de la reproducción de aves y reptiles es única, y los científicos se han preguntado durante mucho tiempo cómo se originó el huevo altamente sofisticado en el sistema.

Los huevos tienen una cáscara dura pero permeable al agua y al aire, lo suficientemente fuerte como para soportar el peso de una madre incubadora. La cubierta contiene miles de pequeños poros, cada uno de menos de milésimas de pulgada de ancho, demasiado pequeños para ser vistos a simple vista. Un huevo de gallina, por ejemplo, tiene más de 7,000 pequeños poros. Estos minúsculos poros están perfectamente calibrados para mantener la integridad de toda la estructura. Disuaden a los invasores a la vez que permiten

que entre O waste del aire fresco y desperdician CO_2 para salir. Si los poros fueran demasiado grandes o demasiado pequeños, las aves se habrían extinguido.

Pero solo tener poros no es suficiente. Dos membranas selectivas notables están ubicadas directamente debajo de la cáscara del huevo de gallina, que cooperan de una manera altamente sincronizada. Cuando la hembra se sienta en los huevos para incubar a sus crías, los huevos suelen ser más cálidos que el aire circundante. Cuando un huevo se enfría, su contenido se encoge ligeramente, separando las dos membranas internas en el momento perfecto. El encogimiento aspira aire de la atmósfera, formando un pequeño saco que contiene principalmente nitrógeno (N_2) pero también suficiente O_2.

El pajarito de alguna manera "siente" que la OO preciosa ha entrado en el huevo. Para alcanzarlo, el pollito desarrolla una delicada red de capilares en un proceso genético y metabólico orquestado con precisión. Estos capilares están perfectamente diseñados para mover O_2 hacia adentro y CO fuera de la sangre del ave. Esta red crece fuera del abdomen del pollito y presiona contra las membranas, haciendo contacto cercano con ellas. Las dos membranas del huevo también permiten la permeación selectiva a través del intercambio adecuado de O_2 y CO_2. Es una obra maestra de alta tecnología de tratamiento y control de aire.

Los poros de los huevos son obras maestras de ingeniería por otra razón. Permiten que las moléculas de agua entren y salgan de la cáscara. El agua se evapora lentamente, creando más espacio vacío para llenar con aire. Cuando el bebé está listo para eclosionar, pincha el saco de aire inflado para respirar por primera vez cuando aún está dentro del huevo.

El diente de huevo es otra maravilla de la ingeniería. Este diente es una pequeña proyección en forma de cuerno que comienza a desarrollarse en el pico superior en el séptimo día dentro del huevo. La incubación tiene lugar veintiún días después de la puesta del huevo. A medida que se acerca el momento de la eclosión, se vuelve duro y agudo, de modo que el pollito puede usarlo para atravesar la membrana interna y alcanzar la celda de aire ubicada en el extremo romo del huevo. [15] El saco de aire entre la cubierta y la membrana interna tiene la cantidad justa de oxígeno para permitir que el polluelo comience a emplear su sistema respiratorio hasta tres días antes de la eclosión. Usando este depósito de aire, el bebé llena sus pulmones y se vuelve lo suficientemente fuerte como para perforar agujeros a través de la cáscara del huevo duro.

Las garras y el pico del pollito aún no son lo suficientemente fuertes como para romper la cáscara dura del huevo, por lo que el diente de huevo y el saco de aire son esenciales. [16] Sin el diente de huevo y el saco de aire, el pollito moriría dentro del huevo.

El pajarito también necesita algo más para hacer la primera grieta en la cáscara (llamada "pipping"). Para romper agujeros a través de las membranas y la cáscara dura, un músculo que se hunde se hincha en la parte posterior del cuello del ave para presionar el pico contra la cáscara. Perforar un agujero inicial a través de la cubierta es tan agotador que el pollito descansa hasta ocho horas después. Luego, como explica Gail Damerow, el pollito revitalizado gira en sentido contrario a las agujas del reloj, rompiendo la cáscara con su

diente de huevo "miles de veces, hasta que ha roto la cáscara alrededor de las tres cuartas partes del camino, creando una tapa de cáscara en el extremo romo de El huevo. " [17]

Esta acción altamente coreografiada de romper una cáscara de huevo puede demorar hasta cinco horas. El pollito sabe cuándo está hecho y empuja contra la tapa de la concha con su cabeza. Después de unos cuarenta minutos de trabajo, finalmente se rompe la tapa de la concha. El ave recién nacida se agota de nuevo, y toma otro descanso. Por último, da una fuerte patada para escapar de la cáscara del huevo. [18]

El diente de huevo es esencial para el escape. Pero tenga en cuenta también que la madre de la chica no ha tenido la oportunidad de enseñarle a hacer nada de esto y, sin embargo, de alguna manera lo sabe. (Si no fuera así, moriría). Este know-how también es parte de lo que aparentemente debe preverse y entregarse por adelantado.

Los polluelos de algunas especies de aves, como los megapodos, no tienen un diente de huevo. Sus cáscaras de huevo son mucho más suaves, por lo que no tienen necesidad de desarrollar el diente que necesita nutrientes. Primero eclosionan los pies para salir, usando garras afiladas que han sido ingeniosamente cubiertas por gorras con forma de gelatina para evitar lesiones. Estas tapas con forma de gelatina, como el diente de huevo, se caen poco después de que el polluelo se rompe.

Existe una sorprendente sinergia de acción entre el pollito dentro de su huevo y la madre afuera. La gallina "sabe" que debe incubar el huevo durante unas semanas, mantenerlo caliente y darle la vuelta varias veces al día. Después de unos diecisiete días de incubación debajo de la gallina madre, el polluelo comienza a espiar. La mirada furtiva le indica a la madre cuando el pollito está casi listo para dejar el huevo.

Tan pronto como ella oye el mensaje, la gallina comienza a picar agujeros en el extremo redondeado de la cáscara. Entra más aire, lo que permite al pollito más oxígeno y, por lo tanto, fuerza para incubar. A partir de este momento, el pollito utilizará su diente de huevo para romper la cáscara, haciendo girar su cuerpo en un proceso muy coordinado hasta que pueda liberarse.

Aunque esta es la forma más común para que los pollitos eclosionen, en algunas especies, el pollito separa el lado del huevo y emerge a través de un agujero desordenado. La cantidad requerida de picoteo varía, y parece preprogramada para igualar la dureza del huevo y la resistencia del pollito.

Thomas Wentworth Higginson, un autor del siglo XIX, abolicionista y activista de los derechos de las mujeres, declaró una vez: "Creo que, si es necesario, por pena de muerte, nombrar al instante la cosa más perfecta en el universo, debería arriesgar mi destino con el ave de un pájaro". Huevo. " [19] Se requieren múltiples niveles de previsión para orquestar una cosa tan perfecta como un huevo. Al igual que con otros casos, los escenarios evolutivos sugeridos explican el beneficio de tener un huevo y una gallina para proporcionarlo, pero ignoran los detalles de cómo este sistema más exquisito podría haberse originado un paso pequeño y ciego a la vez durante muchas generaciones. [20]

¿Cuál vino primero?

La pregunta histórica es: ¿Qué vino primero, la gallina o el huevo? Se necesita un pollo para hacer un huevo, pero se necesita un huevo para hacer un pollo. Sin una gallina no habría huevo, pero las gallinas que ponen solo huevos parcialmente evolucionadas, los huevos no totalmente funcionales se extinguirían en una sola generación: adiós, pajarera.

Un huevo completamente funcional debe planificarse por adelantado, con poros del tamaño correcto, membranas internas y un saco de aire expansible. El pollito debe estar programado para conectarse a través de una red de vasos sanguíneos a las membranas y hacer que su saco de aire se expanda lentamente para que el polluelo pueda ejercer sus nuevos pulmones antes de romper las paredes de su prisión. El huevo también debe cargarse con la comida suficiente para que el polluelo pueda madurar. El pollito debe tener el diente de huevo fuerte y bien diseñado y saber cómo salirse de su cáscara. El pollito y la gallina también deben coordinar su comportamiento. Si cualquiera de estos pasos, comportamientos y estructuras intrincados se pasaran por alto, las aves no sobrevivirían el tiempo suficiente para que la selección natural desarrolle algo nuevo. Las aves y sus huevos son, de hecho, casos sorprendentes para la previsión y la planificación en la naturaleza.

7. LA PREVISIÓN EN LA FORMA HUMANA: REPRODUCCIÓN

Nuestros propios cuerpos están tan llenos de soluciones que anticipan problemas complejos que sería negligente de mi parte no explorar algunos de ellos en estas páginas. Hay tantos ejemplos hermosos que cubriré solo una pequeña muestra de ellos.

Óvulo y esperma

El gran milagro de la concepción comienza con una loca carrera. Entre 100 millones y 300 millones de espermatozoides se alinean en la línea de partida (Figura 7.1). La línea de meta se encuentra en la distancia, y el premio está participando en la creación de un nuevo individuo, un bebé humano. El ganador es el primer espermatozoide capaz de penetrar la membrana del óvulo. Estas carreras pueden comenzar varias veces al mes, pero muchas terminan sin premio ya que un óvulo está esperando en la línea de meta solo una vez al mes.

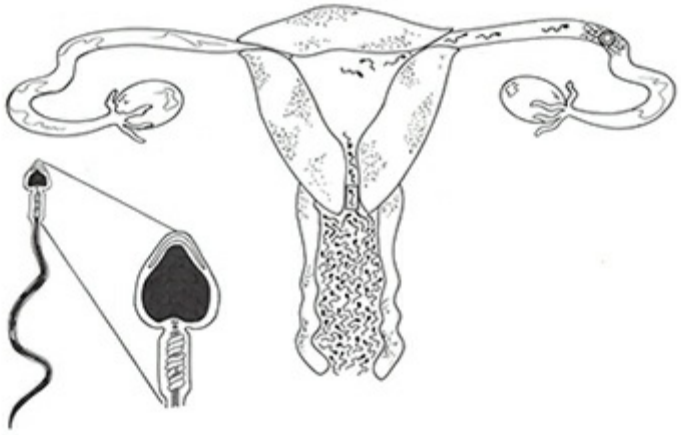

Figura 7.1. En el centro se encuentra el sistema reproductor femenino humano, con la vagina (parte inferior) llena de esperma. A la izquierda hay un esperma. Usando sus generadores mitocondriales y sus hélices, millones de espermatozoides comienzan la carrera, pero solo uno afortunado encontrará y penetrará en el óvulo.

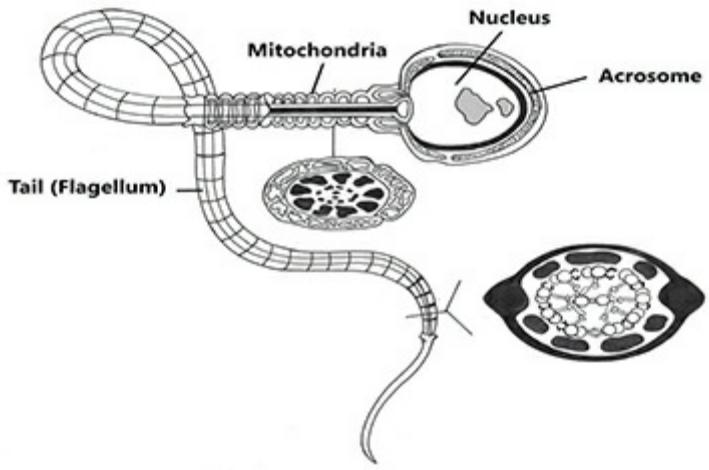

Figura 7.2. El auto de carreras más sofisticado de la Tierra: el esperma.

El esperma está bien equipado para la carrera con una cola larga (llamada flagelo, aunque es muy diferente del flagelo bacteriano) para propulsarla, varias docenas de generadores de energía mitocondrial, miles de millones de bytes de información para transmitir, un "óvulo". Detector "para guiarlo, y un cóctel de enzimas para abrir su puerta a la victoria final.

Los espermatozoides constituyen solo un pequeño porcentaje del volumen del fluido seminal, o semen, normalmente eyaculado por un macho humano. En su carrera hacia el óvulo, los espermatozoides necesitan ser alimentados, y el semen los nutre con la fructosa de azúcar. El semen también es ligeramente alcalino, manteniendo vivo el esperma sensible al ácido en las condiciones ácidas del tracto reproductor femenino.

La pista de carreras de aproximadamente 15 cm de largo también fue preparada adecuadamente. A medida que se libera la hormona estrógeno, se abre la barrera física del cuello uterino, el moco cervical se vuelve más alcalino y acuoso, y se estimulan las contracciones uterinas, lo que ayuda al esperma a ingresar al sistema reproductivo. Para ayudar a los espermatozoides a llegar a la trompa de Falopio que lleva los óvulos, las contracciones uterinas acuden en ayuda del motor de propulsión de los espermatozoides.

Los espermatozoides que llegan al canal cervical, escapando del ataque de un ejército defensivo de glóbulos blancos, son recompensados por un mar de moco cervical para transportarlos. Este moco es normalmente viscoso, pero exactamente en el período de ovulación se vuelve claro y delgado, de modo que la pista de carreras está correctamente pavimentada con cadenas de moléculas que los espermatozoides pueden viajar a su destino final.

Una vez que está en el lugar correcto, ¿cómo encuentra el esperma el óvulo? El esperma sigue los atrayentes químicos emitidos por el óvulo, [1] usando un sensor químico que lo lleva hacia la meta.

Pero el afortunado esperma no puede ganar simplemente siendo más rápido. Algunos espermatozoides se moverán demasiado rápido y llegarán antes de que aparezca el óvulo. Otros llegarán demasiado tarde. Para hacer las cosas aún más difíciles, hay dos trompas de Falopio, y generalmente solo hay un óvulo en una de ellas.

Todos menos una pequeña fracción de los corredores no podrán encontrar el óvulo en primer lugar. De los millones de espermatozoides en la línea de inicio, solo unos pocos cientos alcanzarán el óvulo. Y llegar al óvulo no es el final de la lucha. Todavía queda la cuestión de penetrar en la pared del óvulo, el desafío final.

El óvulo está rodeado por una capa externa gruesa llamada zona pelúcida, que contiene proteínas decoradas con carbohidratos ramificados. Hay literalmente miles de patrones de carbohidratos que el óvulo podría haber usado para hacer estas glicoproteínas, como se las llama, pero solo es del tipo que el esperma reconoce. Esta combinación química perfecta es necesaria para el éxito.

Necesario, pero no suficiente. El esperma, habiendo llegado, todavía tiene que abrirse camino a través de la espesura.

Afortunadamente, el esperma está equipado con un mecanismo para pasar la zona pelúcida. La cabeza de los espermatozoides está cubierta con una estructura llamada "acrosoma". Tan pronto como el acrosoma entra en contacto con la zona pelúcida, libera las enzimas digestivas adecuadas para permitirle atravesar la capa externa gruesa y llegar a la membrana del óvulo. (Vea la Figura 7.3 .) La membrana del esperma luego se fusiona con la membrana del óvulo.

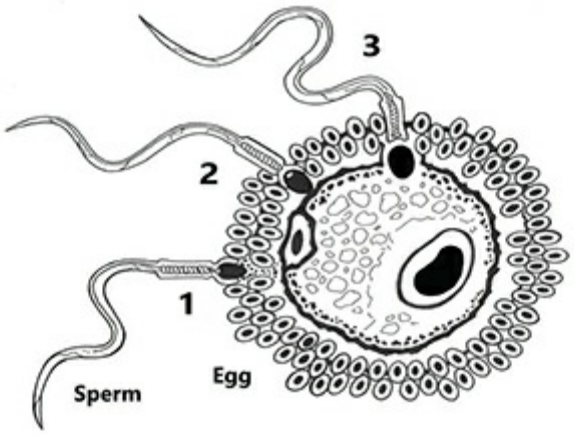

Figura 7.3. El momento más crucial llega cuando el ganador encuentra el óvulo y rompe su cubierta y membrana externas (pasos 1 a 3) utilizando un arsenal de enzimas ingeniosas. Después de eso, el óvulo evita que entren todos los demás espermatozoides.

Y el óvulo no se queda quieto durante el proceso. Se mueve hacia el esperma que se aproxima. La membrana mucosa que recubre la trompa de Falopio emite secreciones que

ayudan a transportar tanto el óvulo como el esperma y mantenerlos vivos. Los bicarbonatos y el ácido láctico en estas secreciones son proveedores vitales de oxígeno para el esperma y para el desarrollo del óvulo fertilizado. La glucosa también está presente, lo que proporciona un aumento de energía similar al de Red Bull para el óvulo y el esperma. Y un grupo de productos químicos diseñados adecuadamente proporciona un ambiente apropiado para la fertilización.

Los muchos aspectos de esta carrera por la vida son una maravilla de la orquestación. La química y los niveles de pH deben estar perfectamente equilibrados. Después de la "primera noche", el útero debe estar listo para que el óvulo fertilizado se implante. La implantación del óvulo fertilizado provoca un cambio programado en las hormonas que produce el cuerpo de la mujer, por ejemplo, la progesterona desencadena el desarrollo de los senos. Luego, más tarde, los niveles elevados de estrógeno en la sangre preparan los senos para la lactancia (junto con otras hormonas como la hormona luteinizante).

Pero quizás los miembros de reparto más espectaculares en la carrera de la vida son los de la membrana mucosa. Propulsadas por motores nanomoleculares, unas finas estructuras similares a pelos llamadas cilios arrastran el óvulo a través de las trompas de Falopio usando movimientos altamente sincronizados, como los de los brazos y las piernas de un nadador campeón. Este movimiento de natación sincronizada, junto con las contracciones musculares rítmicas de la pared de la trompa de Falopio, más la propulsión flagelar del esperma, mueve el esperma y el óvulo uno hacia el otro.

El viejo dicho, "la compañía de dos; Tres es una multitud "es cierto aquí. La implantación debe ser un solo óvulo con un solo espermatozoide, pero decenas de otros espermatozoides también llegan al óvulo e intentarán estrellar la fiesta. Si dos espermatozoides penetran en el óvulo, el caos genético resultante condena al embrión.

Para evitar esta tragedia, una serie de procesos bioquímicos ingeniosamente orquestados ocurren tan pronto como el esperma entra en la primera pared. [2] Un ejército de moléculas de soldado endurece rápidamente la pared externa del óvulo tan pronto como el primer esperma entra, impidiendo que otros espermatozoides (no demasiados por ahora) lo sigan. La penetración de un espermatozoide y su fusión con el óvulo desencadena la liberación de millones de iones de calcio. Esto causa que los gránulos corticales dentro del óvulo y la membrana plasmática se fusionen. Los gránulos corticales dejan caer su carga útil fuera de la célula, enzimas que digieren la zona pelúcida, de modo que ya no pueden unir el esperma. Mientras tanto, otras moléculas de los gránulos generan una nueva capa de barrera alrededor del óvulo fertilizado. De esta manera, se evita la situación mortal de un solo óvulo que está siendo fertilizado por múltiples espermatozoides.[3]

Recientemente, los científicos resolvieron un misterio de larga data en biología [4] cuando descubrieron que un par de proteínas específicas adecuadas permiten que los espermatozoides se "acoplen" a un óvulo. La proteína Juno, llamada así por la diosa romana de la fertilidad, está situada en la superficie del óvulo y se une con una proteína específica de

esperma conocida como "Izumo", llamada así por un santuario japonés al matrimonio. ¿Cómo aprendieron este increíble truco codificado?

Este proceso cuidadosamente coordinado debe ocurrir perfectamente para que incluso una vida humana *comience* . Todo debe suceder en orden, nada debe salir mal, cada pieza debe desempeñar su papel, o no hay un humano nuevo. Si incluso uno de los pasos indispensables no funciona, no hay nueva vida. Es todo o nada. ¿Tiene alguna idea, o ha leído alguna vez un artículo científico que explique en términos moleculares, respaldado por datos, cómo un proceso de este tipo podría unirse en un paso evolutivo pequeño y ciego a la vez? No te sientas mal. Nadie tiene. Yo sugeriría que la razón de esto es que en realidad se unió no a través de la evolución ciega sino a través de la previsión y la preparación cuidadosa. Esa es la mejor explicación, dada la creciente riqueza de evidencia.

Y las necesidades intrincadas de un humano antes de nacer no terminan después de la implantación. Una vez que termina esta primera etapa, cuidadosamente coordinada, comienza un viaje de nueve meses de duración, uno que requiere partes y procesos aún más cuidadosamente sincronizados para que nazca un infante vivo que respira.

El arsenal químico de las hormonas del embarazo

Como hemos tratado brevemente más arriba, el embarazo requiere una serie concatenada de cambios químicos y morfológicos. Estos pasos son provocados por una serie de mensajeros químicos, un cóctel de biomoléculas fantásticas, grandes y pequeñas, conocidas como hormonas (Figura 7.4). Controlan y sincronizan la producción de un óvulo, su fertilización, el desarrollo del embrión y el parto final del niño desde el útero de la madre. [5]

Las hormonas son formas intrigantes desde un punto de vista químico. Son un conjunto especial y estructuralmente diverso de mensajeros químicos que controlan la mayoría de las funciones principales del cuerpo, desde los procesos básicos que generan hambre hasta operaciones altamente complejas y sofisticadas, como la reproducción. Las hormonas incluso contribuyen a las emociones y el estado de ánimo. Uno podría escribir otro libro completo sobre la previsión que se manifiesta solo en las hormonas del embarazo y otras biomoléculas que deben haber estado presentes para la llegada del primer bebé nacido en la Tierra. Vamos a ver solo un pequeño (si sorprendente) conjunto de ejemplos aquí.

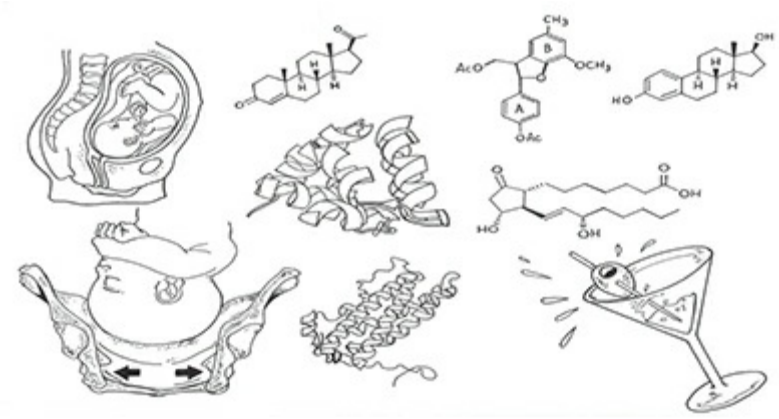

Figura 7.4. Solo una muestra del cóctel diverso de biomoléculas u hormonas mensajeras necesarias para organizar el embarazo y el parto.

Las diversas sustancias químicas involucradas en el embarazo desencadenan eventos específicos del embarazo, pero también previenen problemas que de otra manera matarían al bebé. Aunque algunas hormonas desempeñan papeles más importantes en el embarazo, todas son necesarias para producir un bebé sano. Aquí hay una breve lista de hormonas y un resumen de sus funciones:

FSH : se cree que la hormona estimulante del folículo (FSH, por sus siglas en inglés) es la primera en la cascada de las hormonas del embarazo y está presente en la sangre de la madre incluso antes de la fertilización. La FSH estimula uno de los folículos ováricos del ovario, diciéndole que madure y comience a producir la hormona estrógeno.

LH : la hormona luteinizante (LH), que trabaja en conjunto con FSH, organiza el ciclo menstrual y se vuelve inactiva durante el embarazo. A medida que la FSH activa la producción de estrógeno, este mensajero desencadena una oleada de LH que ordena al folículo dominante que libere el óvulo del ovario. Luego, el óvulo migra hacia la trompa de Falopio, donde espera a que llegue el esperma ganador. El folículo separado forma el cuerpo lúteo, que se desintegra en aproximadamente dos semanas si un embrión no se implanta. Si el óvulo es fertilizado, el cuerpo lúteo continúa creciendo, produciendo suficientes hormonas para nutrir y apoyar la nueva vida.

*h*CG: La hormona gonadotropina coriónica humana (hCG, por sus siglas en inglés) es el mensajero "justo para el embarazo" que activa la producción de estrógeno y progesterona tan pronto como el óvulo es fertilizado. Al igual que LH, hCG es responsable de mantener vivo el cuerpo lúteo hasta que la placenta se haga cargo. Igual de crucial, la hCG suprime esa parte del sistema inmunológico de la madre que podría confundir a su bebé con un cuerpo extraño y eliminarlo. La placenta de nuevo desarrollo produce hCG solo unos días después de los implantes de óvulos fertilizados para "engañar" al ejército molecular de la madre. El embrión se registra y permanece durante cuarenta semanas, alimentándose de sus nutrientes. La cantidad de hCG es tan alta durante el embarazo que puede medirse

mediante pruebas de embarazo caseras. Esta hormona también estimula el cuerpo lúteo para producir más estrógeno y progesterona. Suben y bajan,

Estrógeno : esta hormona está ahí para realizar muchas tareas, pero principalmente ayuda al crecimiento del útero, al tiempo que regula la producción de otras hormonas clave y desencadena el desarrollo de los órganos del bebé.

Progesterona : esta es una hormona multifuncional que desencadena el crecimiento del tejido mamario y, lo más importante, ayuda a suavizar los ligamentos y el cartílago para preparar el cuerpo de la madre para el parto, para que el bebé pueda salir más fácilmente.

Relaxina : Esta también es una hormona crucial para el embarazo. Sin la relajación, todo el trabajo duro sería en vano y el bebé quedaría atrapado dentro del útero de la madre. Pero se anticipó esta catástrofe y se proporcionó la solución adecuada: la relaxina envía un mensaje al cuerpo de la madre para relajar los músculos, los huesos, los ligamentos y las articulaciones para permitir la dilatación del cuello uterino para que el bebé pueda nacer.

hPL : el lactógeno placentario humano (hPL, por sus siglas en inglés) es la hormona responsable de enviar mensajes al seno de la madre, preparándolo para la lactancia materna.

Oxitocina : esta hormona provoca contracciones musculares que coordinan el trabajo de parto para el parto del bebé. También estimula los pezones para la lactancia materna y es conocida como la "hormona del amor", ya que ayuda a la madre a unirse con su nuevo bebé.

Prolactina : Este es otro mensajero increíble para el embarazo. Provoca el aumento en el tamaño del seno de la madre para que pueda producir suficiente leche para su recién nacido. (Por cierto, ahora está bien establecido que la leche materna es mejor para los bebés que incluso la fórmula artificial más avanzada para bebés).

Sin este cóctel sintonizado de hormonas del embarazo, no habría recién nacidos, porque después de la implantación, un bebé nunca alcanzaría el momento del parto.

Abriendo la puerta: dilatación cervical

El cuello uterino es la parte inferior del útero que se abre hacia la vagina. A medida que el bebé se desarrolla en el útero durante el embarazo, el cuello uterino cumple dos funciones críticas. En primer lugar, permanece duro e inmóvil durante las cuarenta semanas de embarazo. El cuello uterino sirve para mantener al feto en desarrollo dentro del útero hasta que el bebé esté lo suficientemente maduro para el parto. Pero precisamente en el momento del trabajo de parto y el parto, se produce una maravilla metabólica: el hipotálamo envía mensajeros moleculares al cuello uterino para decirle que ha llegado el momento de que se suavice y se vuelva más elástico.

Se podría decir que la maduración del cuello uterino fue una ventaja selectiva adquirida durante muchas generaciones de evolución ciega, pero observe el problema. Si en el primer parto del bebé, el cuello uterino no podía sostener al bebé en su lugar y luego abrirlo en el momento exacto, este pobre bebé pionero habría sido expulsado demasiado pronto o habría

sido atrapado dentro del útero de la madre, lo que llevaría al Muerte tanto del niño como de la madre. Ningún primer bebé, ninguna posibilidad de evolución gradual durante muchas generaciones. La dilatación adecuada en el momento adecuado del cuello uterino es un requisito previo para la reproducción humana.

Durante el parto, el cuello uterino se ensancha considerablemente desde su diámetro normal (que es de 1 a 3 centímetros) para dejar espacio para que salga el bebé. Normalmente es más o menos cilíndrico, largo y grueso, pero durante el parto, el cuello uterino se acorta, se adelgaza y se levanta hacia la parte inferior del útero, lo que permite que se abra. Esta increíble ampliación, de 1 a 3 centímetros hasta diez centímetros, crea un pasaje para la cabeza del bebé y el resto de su cuerpo hacia el canal vaginal.

Este proceso de dilatación puede ocurrir durante la noche o gradualmente durante un par de días. Recuerde que la maduración del cuello uterino es estimulada por la hormona oxitocina, con la ayuda de los altos niveles de estrógeno. Este estímulo a su vez libera un grupo de hormonas adicionales, conocidas como prostaglandinas (P2 y PGE2), que juntas desempeñan un papel indispensable en la dilatación y el parto.

Ocasionalmente, la dilatación inadecuada del cuello uterino ocasiona complicaciones en el parto de un bebé. [6] Antes de la medicina moderna, estas complicaciones a menudo conducían a la muerte de la madre y el niño. Se podría argumentar que este fracaso es una evidencia del proceso imperfecto de prueba y error de la evolución ciega, en lugar de la previsión y la planificación de un diseñador sabio. Esa es una objeción con dimensiones científicas, filosóficas e incluso teológicas. Se podría escribir un libro completo sobre eso, pero aquí basta con señalar que es una suposición teológica de que un diseñador bueno y sabio planearía un mundo necesariamente libre de todo dolor, sufrimiento y muerte. Los pensadores teológicos líderes de varias tradiciones religiosas han ofrecido argumentos contundentes en contra.

Pero dejando de lado las consideraciones teológicas, dejando a un lado las preguntas sobre el carácter de cualquier posible diseñador de la naturaleza, considere el siguiente escenario imaginativo. Un día descubres una flota de autos en un almacén, todos ellos del mismo modelo. Y este modelo es tecnológicamente más allá de lo que los humanos han diseñado. En comparación, hace que un coche de carreras de Fórmula 1 parezca un carro de caballos. Más tarde descubres que algunos de estos vehículos extraordinarios tienen problemas con las líneas de combustible obstruidas. Este fracaso sería interesante, y seguramente sería digno de investigación, pero no es motivo para concluir que este asombroso modelo de coche de carreras no fue el trabajo de previsión y planificación.

Solo si hubiera otra explicación mejor para el origen del modelo, una que explicara toda la previsión y la planificación que aparentemente se necesitaba para construir un vehículo de alta tecnología, *y que* contabilizara las líneas de combustible obstruidas, sería razonable considerar descartando la explicación del diseño. Y dar cuenta de toda la previsión y la planificación requeriría más que algunas historias vagas carentes de detalles.

Para el sistema extraordinariamente sofisticado que es el embarazo y el parto humano, las mejores explicaciones sin diseño, todas las variaciones modernas en la teoría de la evolución de Darwin, siguen sin contar con detalles específicos, apoyándose, en cambio, en todo tipo de agitar las manos.

En cuanto a la dilatación cervical, es una maravilla que funcione, que funcione tan a menudo y que funcione tan bien. Y una vez que nace el bebé, el cérvix tiene un truco más, esencial para la salud de la madre. Tan pronto como el bebé está fuera, el proceso comienza a revertirse automáticamente, y el cuello uterino pronto recupera su tamaño y consistencia normales, volviendo a su otra función.

La necesidad de ambos pasos tuvo que ser anticipada. Prevenga la necesidad de asegurarse de que el bebé en desarrollo permanezca dentro del útero, a pesar de la postura erguida de la madre, luego prevea la necesidad tanto de la dilatación cervical como de la contracción en el momento adecuado, o de no tener bebés.

Un Apéndice: En el Apéndice

Antes de pasar al siguiente capítulo, me gustaría hacer una breve digresión para observar un órgano que no esté involucrado en el embarazo, pero no menos una proeza de resolución anticipada de problemas: el apéndice humano.

El proceso digestivo es una parte esencial de la vida humana. Para brindarnos la nutrición necesaria, nuestro sistema digestivo y un maravilloso conjunto de enzimas y nano-trabajadores (bacterias intestinales) rompen las moléculas grandes de los alimentos en moléculas pequeñas que nuestros cuerpos pueden absorber y usar para la energía, el crecimiento y la reparación celular. Pero a veces hay un error en el sistema, literalmente, y los humanos se enferman y necesitan eliminar sustancias dañinas de su tracto digestivo. Este lavado usualmente toma la forma de diarrea, que, si bien es desagradable, es necesaria para nuestro bienestar. [7]Cuando tenemos diarrea, nuestro cuerpo elimina las bacterias que nos enferman. Es decir, las células en la pared del intestino permiten que ingrese mucha más agua de lo normal. Al estudiar ratas, los científicos han descubierto que este proceso es una obra maestra de la señalización química, que involucra la acción desencadenada por una proteína llamada interleucina-22 que trabaja con otra proteína, la claudina-2. [8]

Pero como suele suceder con las soluciones de ingeniería más ingeniosas, la cura crea nuevos problemas. La diarrea, si bien es necesaria, no es muy selectiva. Elimina la causa de la enfermedad, pero en el proceso, también elimina las bacterias intestinales buenas. Estas bacterias son esenciales para la correcta digestión de los alimentos. Entonces, ¿cómo se las arregla el cuerpo con este dilema? Puede que la respuesta te sorprenda, porque la teoría evolutiva ha enseñado durante años que el órgano relevante era un resto inútil de la evolución.

Nuestro sistema digestivo está formado por una intrincada serie de órganos interconectados: el tracto gastrointestinal (GI) que se extiende desde la boca hasta el ano

incluye el hígado, el páncreas y la vesícula biliar, así como el esófago, el estómago, el intestino delgado, y el intestino grueso. Pero escondido en una esquina de nuestro intestino grueso y aislado del resto del tracto, es un órgano pequeño, solitario pero bastante importante: el apéndice, un saco en forma de dedo unido al ciego. (Ver Figura 7.5 .)

Darwin y sus seguidores asumieron que el apéndice era un inútil órgano de vestigio, que quedó cuando caminamos sobre cuatro piernas y comimos una dieta vegetariana. Esta leyenda evolutiva, basada en mucha retórica y poca evidencia, ha existido al menos desde que Darwin la defendió en *The Descent of Man* . [9]

Aunque a veces nos molesta, especialmente en los países industrializados debido a su moderna susceptibilidad a la inflamación, [10] ahora sabemos que el apéndice cumple al menos dos funciones cruciales (y, por lo tanto, es un órgano valioso que no querría perder a menos que sea absolutamente necesario). para eliminarlo [11]). Primero, es una fuente de células sanguíneas productoras de anticuerpos y, por lo tanto, una parte útil de nuestro sistema inmunológico. [12] En segundo lugar, actúa como un lugar seguro para las bacterias buenas, repoblando el tracto gastrointestinal después de que la diarrea lo limpie. [13] Su ubicación es perfecta desde el punto de vista de la ingeniería hidráulica: ubicado justo debajo del flujo normal de alimentos y gérmenes en un solo sentido en el intestino grueso, ocupa un *callejón sin salida* y por lo tanto está bien protegido de la interrupción debido a la diarrea.

El apéndice también parece ser útil durante la digestión normal, ya que, como se destaca en *Nature Reviews Microbiology* , es probable que proporcione un compartimento "anatómico privilegiado" para cultivar las bacterias buenas y proteger a los habitantes microbianos de los competidores. [14]

Así que el argumento darwiniano de que el apéndice es un órgano vestigial que apoya la teoría evolutiva es en sí mismo vestigial, un resto de la biología darwiniana del siglo XIX. Ahora sabemos mejor.

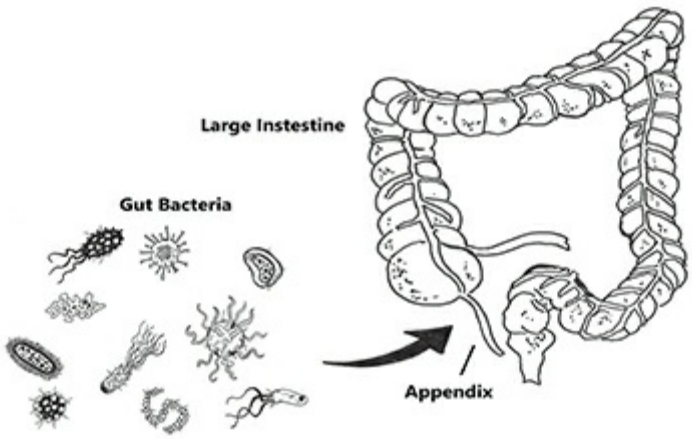

Figura 7.5. Se ha descubierto que el apéndice humano, considerado erróneamente como un órgano vestigial, funciona como un reservorio de bacterias esenciales.

8. PLANIFICACIÓN PARA LOS SENTIDOS

Veamos ahora los sentidos de la vista, el olfato y el gusto, nuestra capacidad de sentir dolor y un sensor interno crucial para la respiración. Principalmente nos centraremos en los sentidos humanos, pero solo para mantenernos humildes, nos detendremos en el camino para admirar a un campeón rastreador del orden de los insectos, la humilde polilla.

Ojos humanos

Sería negligente si escribiera un libro sobre la evidencia de la previsión en la biología y no explorara una de las evidencias más convincentes de esto: la vista.

La luz visible es una colección de ondas electromagnéticas con longitudes de onda que van desde aproximadamente 380 a 740 nanómetros. (Un nanómetro es la mil millonésima parte de un metro). Cuando la luz visible golpea un objeto o pasa a través de un gas, se absorbe, refleja, refracta (dobla) o dispersa. Cuando un objeto refleja todas las longitudes de onda por igual, el cerebro humano interpreta el objeto como blanco. Cuando el objeto los absorbe a todos por igual, nos parece negro. Cuando absorbe algunas longitudes de onda visibles y refleja otras, lo percibimos como un color particular, como rojo, naranja, amarillo, verde, azul o violeta. Cómo experimentamos los colores también tiene algo que ver con el contexto. Todo, desde los colores de fondo hasta el grado de familiaridad, juega un papel importante. [1]Existe una relación íntima entre los colores y la interpretación del cerebro. La vida muy bien podría ser viable en un universo de tonos de gris, pero por alguna razón, el universo es colorido y somos capaces de percibir un arco iris de colores.

La retina humana típica (en la parte posterior del globo ocular) contiene tres tipos de células cónicas: receptores que pueden distinguir tres colores primarios, más millones de combinaciones. También contiene millones de células receptoras llamadas bastones que son más sensibles a la luz pero que solo pueden distinguir el blanco y el negro. Como lo explica Jennifer Leong, en ambos casos, cuando la luz incide en un receptor, las señales neuronales son creadas por cambios químicos, y "estas señales se enrutan a través de las células bipolares y ganglionares vecinas que forman el nervio óptico. Este nervio luego transmite información a la corteza visual del cerebro ". [2] La sensibilidad ocular varía de persona a persona, pero se ha estimado que los humanos con la mejor visión de color pueden distinguir hasta 10 millones de colores diferentes. [3]

Pero solo ser capaz de percibir colores sería insuficiente para ayudar a la supervivencia. También necesitamos una forma de interpretar lo que significan los colores en la vida cotidiana.

La interpretación comienza en las células nerviosas del ojo, pero se completa con el cerebro. Las señales nerviosas del ojo se procesan en la corteza visual del cerebro, que es tan compleja e integrada que hace que una computadora moderna parezca un ábaco. El desarrollo de esta corteza visual requería algo totalmente ajeno a un proceso aleatorio: la previsión. Tomó un *plan* para coordinar la complejidad integrada que nos permite dar sentido a lo que vemos. Cuanto más lo pienses, más sorprendente se vuelve.

Olor y sabor

En muchos laboratorios analíticos de todo el mundo, como los laboratorios de espectrometría de masas que superviso en Brasil, los científicos han desarrollado cientos de diferentes instrumentos y métodos altamente sensibles y selectivos para detectar e identificar sustancias químicas. Estos métodos nos ayudan a comprender la composición química de los diferentes tipos de aromas, bebidas y alimentos a un precio tan bajo como por trillón o menos.

Pero mucho antes de la tecnología sensible descrita anteriormente, las personas tenían que decidir qué comer y no comer sin la guía del conocimiento científico. ¿Cómo tomaron esta decisión esencial? Esta capacidad para clasificar la buena comida de la mala comida tenía que estar allí desde el primer momento. Es difícil imaginar cómo podría adquirirse esta tarea durante mucho tiempo sin que la vida se extinga primero. Siempre hemos necesitado comer y beber, y siempre hemos necesitado saber *qué* comer y beber. ¡Imagine pescar por la mañana y guardar las sobras para cenar en un caluroso día de verano sin poder reconocer que el pescado huele mal!

Tenemos una solución inteligente para este problema. Además de la instrumentación analítica en nuestros ojos y la corteza visual (mucho más sofisticados que los espectrofotómetros artificiales para los colores), tenemos instrumentación analítica en nuestras narices, lenguas y cerebro que nos permite probar y oler con extrema sensibilidad y precisión, mucho más allá. El de los espectrómetros de masas artificiales. Y esta instrumentación biológica sigue una regla general: las cosas que nos enferman o incluso nos matan generalmente huelen y / o tienen mal sabor. Es cierto que los métodos modernos de preparación de alimentos nos han permitido refinar, preparar y comer demasiados alimentos sabrosos que, consumidos con moderación, estarían bien para nosotros pero consumidos en exceso por causa. Y, por supuesto, el sistema puede ser engañado, como lo demuestra la existencia de venenos inodoros e insípidos.

Durante mucho tiempo se ha creído que las narices humanas son de alguna manera deficientes. Aristóteles escribió que "los hombres tienen un mal sentido del olfato". [4] Y Darwin concluyó erróneamente que el sentido del olfato era de "servicio extremadamente

ligero" [5] para el humano civilizado. Estas impresiones, confundidas por una idea falsa de cómo funciona la vida, reforzaron la insistencia del neuroanatomista Paul Broca en el siglo XIX de que los humanos no tienen un buen sentido del olfato. Es cierto que los perros poseen cincuenta veces más receptores olfativos que los humanos, lo que significa que la fuerza de la señal es probablemente más fuerte para los perros en muchos casos. Sin embargo, la nariz humana saludable posee un sofisticado sistema olfativo incorporado [6]capaz de detectar muchos miles de aromas y clasificarlos como dulces, picantes, acre, fragantes, cálidos, secos o agrios. Además, como señala John McGann, un estudio reciente demostró que "los humanos superan a los roedores y perros de laboratorio en la detección de algunos olores, mientras que son menos sensibles a otros", y que "al igual que otros mamíferos, los humanos pueden distinguir entre un número increíble de olores y pueden incluso seguir senderos de olor al aire libre ". [7]

Como explica McGann, nuestro bulbo olfativo es grande en términos absolutos en comparación con los ratones y ratas, y contiene casi tantas neuronas como los bulbos olfativos de otros mamíferos. Por lo tanto, podemos "detectar y diferenciar una gama extraordinaria de olores", al menos los que realmente nos importan. [8]

La conexión entre el mal gusto, el mal olor y la mala comida es tan fuerte que nosotros y la mayoría de los otros animales (excepto los pájaros que cazan, que tienen la capacidad digestiva para manejar canales en descomposición) moriríamos de hambre en lugar de comer carne podrida. La señal de carne podrida parece cuidadosamente planeada, ya que libera algunas de las moléculas más desagradables y volátiles de la Tierra: dos diaminas que huelen tan fuertemente a muerte que se llamaron cadaverina y putrescina.

La lengua humana puede detectar cinco sabores: salado, dulce, amargo, ácido y umami, es decir, sabroso. (Según investigaciones recientes, los humanos también pueden detectar un sexto sabor: los carbohidratos son más complejos que los azúcares simples. [9]) La nariz y la lengua se unen con el cerebro para fusionar los sentidos del gusto y el olfato, y para detectar los rastros de los olores. y sabores demasiado débiles para distinguirlos por sí mismos. Tenemos una precisión de gusto y olfato mucho mejor porque nuestros dos "espectrómetros de masas" humanos trabajan juntos de esta manera. Como explicó un artículo en *Nature Neuroscience* , la percepción del sabor es un proceso integrador que se activa "en dos sistemas neuronales periféricos, olfato y ráfaga, que se combinan" para proporcionarnos una sensación oral unificada " [10.]

Polillas

En la escala de sensibilidad al olfato, los humanos y los perros son impresionantes, pero algunos de los mejores olores son insectos. [11] Entre los insectos, las polillas macho son “supercampeones” que pueden oler estimulantes sexuales altamente específicos en largas distancias (Figura 8.1). De hecho, pueden detectar, en medio de una gran cantidad de otras

moléculas mucho más abundantes, una *única molécula específica* llamada feromona emitida a millas de distancia por una polilla hembra.

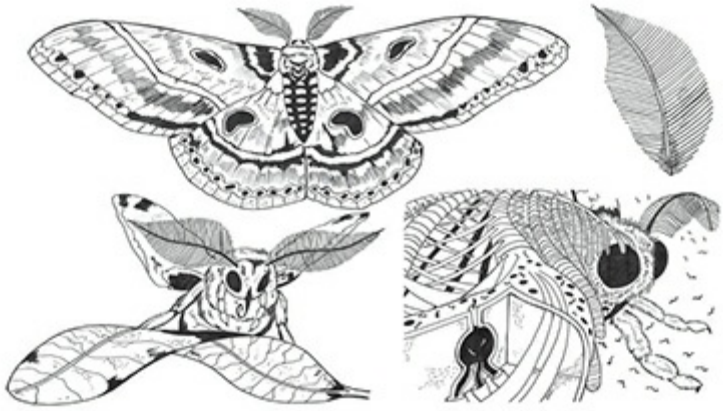

Figura 8.1. Un detector químico extraordinario: la antena de una polilla macho. Utilizando un método de muestreo de preconcentración similar a la microextracción en fase sólida (SPME), y empleando lo que pueden ser los detectores más sensibles y selectivos conocidos por el hombre, la antena de la polilla macho, según los científicos, puede detectar una sola molécula que se ha emitido millas de distancia por la hembra.

Las polillas macho de varias familias realizan esta tarea completamente asombrosa utilizando un dispositivo de muestreo de diseño exquisito: una antena altamente sofisticada con hasta 60,000 receptores olfativos similares a pelos. Su forma amplia permite que la antena entre en contacto con el mayor volumen de aire posible para obtener la mayor sensibilidad posible en el muestreo. [12] Los mecanismos que permiten a una polilla macho detectar concentraciones increíblemente bajas de moléculas de feromonas dependen de un conjunto de proteínas altamente sofisticado.

Esta detección de olores altamente sensible y selectiva es, como insiste Monika Stengl, "un requisito previo para la supervivencia y la reproducción en muchos insectos, especialmente en las polillas de vida corta". La polilla hembra libera una mezcla de feromonas para atraer a una pareja. En una sincronía dependiente del tiempo con la hembra, la caza de la polilla macho para moléculas de señalización específicos de la hembra utilizando un muestreo selectivo y dispositivo espectrómetro-como de "sensibilidad asombroso." [13] Tanto de estas habilidades tenían que estar presentes para las parejas potenciales para encontrar entre sí y reproducirse. Uno sin el otro es inútil.

El polilla macho se las arregla para el trabajo, escribe Stengl, utilizando sensores especializados en forma de pelo en su antena y puede filtrar el aire con rastreadores de moléculas apuntando hacia delante mientras vuela contra el viento. Al hacerlo, absorbe alrededor del treinta por ciento de las moléculas de feromonas lipófilas en el aire

circundante, gracias a las superficies cerosas muy selectivas de su antena. (Esto imita la manera en que los químicos toman muestras de sustancias traza utilizando fibras SPME selectivas). La polilla macho golpea sus alas a una frecuencia tan alta que los movimientos descendentes de sus alas aumentan el flujo de aire para mejorar la recolección de muestras tipo SPME. [14]

Incluso si la hembra pudiera producir la combinación correcta de feromonas (un milagro químico en sí mismo), las feromonas serían inútiles si el macho careciera de la capacidad de detectarlas con una sensibilidad extremadamente alta utilizando los sensores adecuados y el muestreo tipo SPME. Construir un sistema que permita que las polillas macho y hembra se encuentren entre sí requiere previsión en cada paso. Cada estrategia, la bioquímica y los biosensores subyacentes, cada parte del cuerpo involucrada, son un "deber primordial" para la supervivencia de la especie. Si faltara alguno de estos detalles y, en consecuencia, el macho y la hembra no pudieran encontrarse, no se reproducirían y la especie pronto se extinguiría.

Agravando el problema, las polillas maduras deben reproducirse durante sus muy cortas vidas, por lo que deben ubicar a sus parejas muy rápidamente. No hay tiempo para esperar la evolución a lo largo de eones de tiempo. Prever e implementar las feromonas correctas y las antenas a la vez, o adiós a las polillas.

Planificación para el dolor

Por supuesto, no todas las sensaciones son agradables. La vida es maravillosa, pero a menudo también es dolorosa. ¿No sería un cuerpo que no experimentó dolor mucho mejor que los que tenemos? En realidad, el dolor es una característica de la vida extraordinariamente valiosa para la supervivencia. Nos protege de estímulos nocivos y peligrosos, y la pérdida de la sensación de dolor a menudo provoca lesiones e incluso la muerte.

"Sin dolor, sin ganancia" es la regla en el gimnasio. También podríamos decir, sin dolor, sin vida. [15] La ausencia de dolor representaría una amenaza fatal para la vida, porque las criaturas se empujarían más allá de los límites de su fuerza sin saber algo mejor, o ignorarían las lesiones hasta que las lesiones pasaran de ser dañinas a letales.

El dolor con la intensidad adecuadamente sintonizada es crucial para proteger la vida.[16] Por ejemplo, cuando un niño pisa una uña, siente un dolor intenso a través de terminaciones nerviosas especiales que detectan el dolor en su pie (nociceptores), que están perfectamente ubicadas en la piel y los tejidos conectivos. Un impulso eléctrico se transmite inmediatamente a las neuronas sensoriales, y un impulso nervioso se dispara y pasa al sistema nervioso central a través de una neurona de relevo. Dependiendo de la fuente del dolor, este relé dirige la señal hacia el cerebro o la médula espinal, y luego regresa a lo largo de la neurona motora hacia los músculos. Los músculos se contraen rápidamente, limitando la lesión y protegiendo el pie del niño, porque lo levantará de inmediato cuando sienta el

dolor. Si el niño agarra una sartén caliente, los músculos retrocederán ante la dolorosa sensación de ardor en su mano. Mientras el cuerpo está involucrado en muchas actividades inconscientes para minimizar la amenaza,

Desde la picadura de una uña hasta la gran agonía de un hueso roto o una piel quemada, el dolor nos permite saber cuándo debemos actuar, nos dice qué parte de nuestro cuerpo necesita atención y nos motiva a remediarlo.

De la experiencia también aprendemos que la intensidad del dolor se calibra al nivel de la lesión y que solo activa un estímulo reflejo cuando se alcanza un umbral de daño. Imagine la agonía si nuestros sensores de dolor no estuvieran tan bien ajustados y sintiéramos un dolor intenso por actividades triviales, como caminar sobre arena arenosa o recibir un abrazo demasiado entusiasta.

Las personas sanas no tienen órganos externos que sean inmunes al dolor, y los órganos más frágiles son los más sensibles. Sin dolor, la vida siempre estaría en riesgo. Si el niño que pisó la uña no sintió dolor, continuaría pisando la uña, causando graves daños musculares y nerviosos, pérdida de sangre y probablemente una infección grave. El dolor le informa de la gravedad de la lesión y lo detiene antes de que tenga tiempo de reaccionar conscientemente. Sin dolor, pondríamos nuestra vida y nuestra salud en riesgo al participar en actividades peligrosas sin siquiera darnos cuenta.

Para apreciar el propósito del dolor, es útil contrastarlo con la analgesia congénita, un trastorno raro que evita que las personas sientan dolor. [17] Esta patología potencialmente letal es causada por mutaciones [18] que dañan varios genes. Como informa Mo Costandi, las mutaciones en el gen *SCN9A* "producen un canal de sodio no funcional, de modo que las fibras del dolor aún pueden detectar estímulos dolorosos pero son incapaces de enviar las señales sobre ellos al cerebro". [19]

Esta condición hace que la vida sea una pesadilla. Las personas con analgesia congénita son vulnerables a cortes, fracturas y quemaduras graves. Es tan peligroso que las personas con la enfermedad a menudo mueren jóvenes porque las lesiones o enfermedades graves pasan desapercibidas. [20]

La literatura científica informa sobre varios casos de niños que no pudieron sentir ningún dolor físico desde el día en que nacieron. [21 Los] niños que sufren de esta patología indolora y sin dolor comienzan a masticarse la lengua mientras se lesen los dientes y también mutilan inconscientemente sus propios dedos y labios. Sus padres no saben llevarlos al médico cuando contraen apendicitis porque el niño nunca siente ningún dolor abdominal y, por lo tanto, nunca se queja. Se queman a sí mismos, o siguen jugando al fútbol en un tobillo roto, o son mordidos por hormigas o arañas sin sentir nada.

Los evolucionistas teorizan que la sensación de dolor se adquirió lentamente y por accidente porque proporcionó una ventaja de supervivencia. Y es cierto que la historia de la vida sugiere una progresión de menos a más sensible. Por ejemplo, los cnidarios (como las medusas, las anémonas de mar y la hidra) tienen una red muy simple de células nerviosas

que detectan estímulos, muy probablemente al tacto. Los anélidos tienen una red neuronal algo más sensible que responde al tacto, el gusto y el olor. Los nociceptores son neuronas especializadas que algunos evolucionistas dirían que están a una corta distancia evolutiva de estas otras neuronas sensoriales.

Todo esto es digno de mención, pero el diablo está en los detalles. Lo que puede parecer a una corta distancia de un punto de vista distante puede verse repentinamente muy diferente cuando nos acercamos y podemos discernir el mundo de la biología molecular, sumamente complejo, que incluye su información genética y epigenética y los sistemas de procesamiento de información. Desde este punto de vista, de repente, el camino evolutivo se parece más a lo que Lewis y Clark deben haber presenciado después de que llegaron a la cabecera del río Missouri y, en lugar de encontrar otro río, saltar y saltar al otro lado de la división continental Fluyendo hacia el oeste, encontraron montaña tras montaña hasta donde podía ver el ojo. El camino de la evolución es igualmente mucho, mucho más lejos de lo que se asumió inicialmente. Y donde la analogía se rompe es que la evolución no tiene a Lewis y Clark, o Sacajawea, para guías a lo largo del camino, o para el caso, cualquier objetivo. Es ciego y sin sentido.

¿Es la analogía de lo contrario un sonido? Predigo que cuanto más aprendamos acerca de los detalles moleculares de lo que diferencia nuestra capacidad de dolor de la de formas de vida más primitivas, la charla de un paseo evolutivo fácil y ventoso de A a B a C a D dará paso a una información. Un rico paisaje de maquinaria molecular sofisticada e ingeniosamente orquestada, con capacidades que superan con creces a la maquinaria hecha por el hombre, una sin un camino evolutivo detallado plausible, de primitivo a sofisticado.

Aliento o muerte

Cuando pensamos en los sentidos, generalmente pensamos en los cinco grandes: vista, oído, tacto, olfato y gusto. Pero nuestro cuerpo tiene muchos sensores internos que miden varios factores clave para nuestra supervivencia y envían mensajes a nuestro cerebro para mantenerlos equilibrados. Por ejemplo, nuestra capacidad para respirar depende de un sistema de detección muy sensible, un "sentido" en un significado de la palabra, que realiza un seguimiento de los niveles de oxígeno (O_2) en nuestros cuerpos. Y ese es solo un ejemplo ilustrativo de toda una categoría de sensores y mecanismos de balanceo.

Es una suerte que O_2 esté presente en abundancia en nuestra atmósfera, ya que es fundamental para la vida humana y para prácticamente todos los seres vivos. Pero esta molécula diatómica doblemente enlazada puede, como se señaló anteriormente, también ser dañina. El O_2 solo es beneficioso para las formas de vida que están preparadas para usarlo de manera controlada, los medios específicos dependen del nivel de sofisticación y las demandas de energía del organismo. La mayoría de las formas de vida están armadas con maravillosos sistemas respiratorios y de sangre que transportan O desde el aire, la transportan a través de los vasos sanguíneos (utilizando biomoléculas como la hemoglobina)

hasta donde se necesita, y luego devuelven el producto derivado. Tomamos O_2 y eliminamos su subproducto, el dióxido de carbono (CO_2), respirando constantemente y a una velocidad bien controlada. Es un sistema que funciona de manera magistral, semiautomático, silencioso y suave.

Allí, por supuesto, hay valores atípicos primitivos en esta historia. Los cnidarios tienen en partes solo dos capas de celdas de espesor, por lo que cada celda está expuesta al ambiente marino y obtiene su propio O_2. Las lombrices de tierra simplemente absorben O_2 a través de su epidermis, razón por la cual, después de una fuerte lluvia, salen a la superficie y no se ahogan. Hay, por lo tanto, animales multicelulares que no poseen nada tan intrincado como los vertebrados para procesar O_2. Los evolucionistas los usarían para contar una historia que relaciona a la hidra simple a través de los filos animales y estarían muy seguros de su historia evolutiva. Pero, una vez más, esta sería otra historia evolutiva "just-so", los dos extremos conectados por pensamientos ilusorios carentes de detalles moleculares, largos en el *por qué* y cortos en el *cómo* .

Normalmente respiramos entre doce y veinte veces por minuto, día tras día, a lo largo de toda nuestra vida. La respiración consiste en dos fases: inhalación y exhalación. Nuestros pulmones se expanden y contraen continuamente, suministrando O_2 a nuestros cuerpos y eliminando los desechos de CO_2. Cuando inhala, sus músculos intercostales externos y el diafragma se contraen, tirando del diafragma hacia abajo y moviendo las costillas hacia arriba y hacia afuera para expandir la caja torácica y el volumen de nuestro pecho. El aumento en el volumen del tórax reduce la presión del aire dentro de los pulmones en comparación con el aire exterior, aspirando aire a través de nuestras fosas nasales, boca, laringe y tráquea. Cuando exhalamos, los músculos intercostales externos y el diafragma se relajan, devolviendo la cavidad torácica a su volumen anterior, más pequeño. Este movimiento obliga al aire a salir de nuestros pulmones. [22]

El diseño morfológico de nuestro sistema respiratorio incluye tubos bronquiales, que se ramifican desde la tráquea y luego se dividen en los pulmones en pasajes aéreos más pequeños conocidos como bronquiolos. Estos terminan en más de 300 millones de pequeños sacos de aire tipo globo llamados alvéolos, y rodeando cada uno de estos hay una malla de pequeños vasos sanguíneos llamados capilares. Es en estos capilares que la O_2 oxidante pasa a través de las paredes de los alvéolos y entra en nuestra sangre. En los glóbulos rojos, el O_2 se carga en una molécula altamente intrincada, la hemoglobina. A medida que la sangre circula por todo el cuerpo, la hemoglobina libera O_2 a todas las células del cuerpo. La misma hemoglobina luego recolecta los desechos de CO_2 y los devuelve a los pulmones, donde escapa a los alvéolos y entra al aire que exhalamos. [23]

Todos estos procesos bien orquestados generalmente ocurren de manera automática e inconsciente, controlados por nuestro centro respiratorio en el tronco encefálico o médula. La respiración continúa incluso cuando dormimos, ajustada a los diferentes requisitos de O_2 para descansar. La médula dirige la médula espinal para mantener la

respiración, mientras que la protuberancia proporciona una mayor suavización del patrón de respiración, que se encuentra cerca de la médula. [24]

El nivel de CO_2 en la sangre arterial es utilizado por el centro respiratorio para modular la respiración. El CO_2 aumenta la acidez, y si aumenta la acidez, los quimiorreceptores envían una señal al centro respiratorio del cerebro, que envía retroalimentación para acelerar y profundizar la respiración. Este proceso expulsa más CO_2 y trae más O_2. [25]

Si está expuesto a una atmósfera sofocante con muy poco O_2, como las atmósferas predominantemente N_2 dentro de un laboratorio de espectrometría de masas, o en altitudes elevadas al escalar montañas, o a una atmósfera con demasiado CO_2, como la de un silo de maíz. , su metabolismo disminuirá para consumir la menor cantidad posible de O.

También podemos observar nuestros sensores respiratorios en acción en situaciones de disponibilidad reducida de O_2. Cuando la concentración de O_2 en nuestra sangre se reduce, y la concentración de CO_2 aumenta en consecuencia, el flujo normal de O_2 se modificará, y la mayor parte del flujo de sangre de las extremidades se redirigirá a los dos órganos más críticos: el cerebro y el corazón.

De acuerdo con los resultados de un estudio publicado en la revista *Cell*, el cerebro también parece estar equipado con un sensor quimiométrico incorporado para la asfixia atmosférica. [26] La amígdala, un órgano vestigial (inútil) de acuerdo con predicciones evolutivas engañosas, es en cambio "parte del circuito de miedo del cerebro", explica John Wemmie, de la Universidad de Iowa, que funciona como sensor de asfixia y estimula el sistema nervioso simpático. [27] La inhalación de CO_2 reduce el pH del cerebro, y la amígdala tiene un canal iónico sensible al ácido (conocido como ASIC1a) [28] activado por niveles bajos de pH. Los resultados demuestran que la amígdala detecta la amenaza que representa el CO_2 y desencadena una respuesta. [29]

La respiración es inusual entre nuestras funciones corporales porque puede continuar por sí misma o ser regulada voluntariamente. ¿Por qué un mecanismo tan vital debe ser susceptible al control voluntario? El control consciente de la frecuencia y la intensidad de la respiración permite a los humanos hablar, cantar y tocar instrumentos musicales como el saxofón y la trompeta. El control de la respiración también nos permite nadar.

Pero esta capacidad de controlar nuestra respiración tiene un precio. Si no supiéramos cuándo dejar de contener la respiración, podríamos dañar fácilmente el cerebro y el corazón, y finalmente los órganos se apagarían y el cerebro moriría. Por lo tanto, el centro autónomo de control de la respiración del cerebro reafirma rápidamente el control y activa el diafragma. El impulso de respirar provocado por nuestro cerebro simplemente se vuelve demasiado fuerte, de modo que pocos pueden resistirlo mientras aún están conscientes. Y para la persona rara que puede, sigue habiendo un respaldo: se desmaya, y luego comienza a respirar de nuevo. La dictadura del cerebro en la respiración nos salva de la asfixia automática.

Así que la próxima vez que note que respira, deténgase y maravíllese con el maravilloso diseño de nuestro sistema respiratorio. Sin esta delicada interacción de respiración automática, voluntaria y obligatoria a través de quimiosensores y retroalimentación en su lugar, los animales terrestres, incluidos los humanos, nunca hubieran sobrevivido.

Conclusión

Sin todos estos sistemas sensoriales delicados, y estos son solo algunos de los muchos ejemplos posibles, los humanos nunca podrían haber existido. Además, estos sentidos no solo nos permiten sobrevivir. Nos permiten experimentar y disfrutar del mundo que nos rodea. Estos sentidos son absolutamente cruciales y, al mismo tiempo, son un regalo que hace que la vida sea hermosa y convincente. Esta orquestación de sentidos busca en todo el mundo el resultado de una planificación cuidadosa, implementada antes de que supiéramos que los necesitaríamos o podríamos entender su significado.

9. LA PROSPECTIVA Y EL FUTURO DE LA CIENCIA

Es hora de un resumen rápido, y luego retrocedamos y consideremos las implicaciones de la evidencia en estas páginas para el futuro de la ciencia.

El desarrollo de un embrión de pollo es una maravilla para la vista. (Y realmente puedes contemplarlo, porque los científicos han filmado el proceso. [1]) Pero no es menos sorprendente que el embrión en desarrollo sea el huevo en el que se desarrolla. La yema de huevo y la clara de huevo contienen toda la comida que el pollito necesitará antes de que eclosione. La cáscara del huevo también contiene poros microscópicos que dejan entrar el aire para que el polluelo pueda respirar. El ave en desarrollo genera una red de capilares para absorber el oxígeno del aire y liberar dióxido de carbono. Justo antes de incubar, las membranas especiales en el huevo atrapan suficiente aire para que el polluelo adulto pueda respirar por primera vez antes de salir de la cáscara.

La cáscara del huevo es lo suficientemente dura como para proteger al polluelo en desarrollo, pero lo suficientemente frágil para que el polluelo adulto se abra paso. De hecho, el contenido y la cáscara del huevo son obras maestras de ingeniería que nutren y protegen al pajarito.

Pero no habría huevo sin un pollo para producirlo. Sin un huevo no puede haber pollo, pero sin un huevo no puede haber huevo. Es el problema original del *huevo y la gallina* , el ejemplo arquetípico de una circularidad causal muy curiosa: para obtener A necesitamos B, pero para obtener B primero necesitamos A. No podemos tener uno sin el otro. Para reunirnos, necesitamos previsión.

Encontramos ejemplos de esta circularidad causal, y por lo tanto la necesidad de previsión, a través de los sistemas vivos. Como hemos visto, las células vivas necesitan membranas. No hay membranas, no hay vida. Y no solo las membranas, sino las membranas con una gran cantidad de fosfolípidos y canales que permiten que una célula controle su entorno interno. Esos canales requieren proteínas complejas y especializadas para funcionar. Sin embargo, en ausencia de un bioquímico experto, las proteínas necesarias se producen solo en las células, que existían mucho antes de que existieran los bioquímicos. Sin membranas estables cargadas con canales operados por proteínas, no hay células. Pero sin células no hay proteínas para formar canales de membrana.

O considere esto: dentro de una célula viva encontramos ADN y ARN, ambos extremadamente adecuados para los trabajos que realizan, desde la química de sus componentes hasta la química de las moléculas complejas en sí. Sin el ADN y el ARN, la célula no podría sintetizar las proteínas que necesita. Sin embargo, sin un conjunto de proteínas complejas, la célula no podría sintetizar más ADN y, por lo tanto, nunca podría dividirse. Y sin otro conjunto de proteínas complejas, la célula no podría producir ARN. Sin ADN y ARN, sin proteínas. Sin proteínas, sin ADN ni ARN.

Una vez que las proteínas se han traducido del ARN, las chaperonas les ayudan a plegarse rápidamente en las formas tridimensionales correctas. Sin la forma correcta, una proteína no puede funcionar correctamente. Pero los chaperones están hechos de proteínas. Una vez más, tenemos circularidad causal. Sin chaperones, sin proteínas. Sin proteínas, sin chaperonas.

Y no son solo sistemas causales circulares los que requieren previsión. La forma en que las bacterias encajonan y usan hidracina venenosa para convertir los desechos nitrogenados y reponer el nitrógeno atmosférico; la forma en que los insectos *Issus* utilizan engranajes engranados con precisión para saltar; la forma en que el camarón mantis acumula energía elástica para potenciar su notable golpe y protege sus manos con guantes; la forma en que las aves usan el entrelazamiento cuántico para sentir el campo magnético de la Tierra para navegar cuando migran; la coordinación entre esperma y óvulo en la reproducción humana; la forma en que funciona el apéndice para reemplazar las bacterias beneficiosas en el sistema digestivo después de la diarrea; La complejidad integrada involucrada en los sentidos de la vista, el olfato y el dolor: todo esto apunta a la necesidad de la previsión.

Gallina ciega

En el capítulo inicial, mencioné que los evolucionistas han realizado adiciones y otros ajustes al mecanismo central del neodarwinismo de mutaciones genéticas aleatorias y selección natural. Algunos han ido tan lejos en este camino como para renunciar a la moderna síntesis neo-darwiniana, incluso mientras se aferran a la esperanza de que se pueda desarrollar una versión de evolución puramente materialista y ciega. La búsqueda en curso de tal alternativa al neodarwinismo fue el tema de una reunión de 2016 de la Royal Society de Londres, que incluyó a varios evolucionistas distinguidos. Las diversas propuestas para salvar la teoría evolutiva, algunas más de moda y otras menos, incluyen el equilibrio puntuado, la evolución neutral (evolución no adaptativa), la biología del desarrollo evolutivo (evo-devo), la autoorganización, la herencia epigenética y la ingeniería genética natural. Se hacen grandes reclamos para cada una de estas y otras versiones de la evolución ciega, pero al final esas afirmaciones, aunque sin duda las creen sinceramente sus defensores, tienen poco más contenido que un engaño. Cada uno tiene serios defectos como sustituto de la previsión y la planificación.

El equilibrio puntuado, por ejemplo, intenta explicar por qué vemos pocos fósiles de transición en el registro fósil de una forma animal a una forma animal fundamentalmente diferente, pero no ofrece un mecanismo creíble para la evolución geológicamente rápida de las nuevas formas. De hecho, sean cuales sean los desafíos a los que se enfrenta el neodarwinismo tradicional a este respecto, el equilibrio puntuado los enfrenta en forma intensificada, ya que tiene menos tiempo geológico para construir una nueva forma.

La evolución neutral minimiza el papel de la selección natural y se centra en las mutaciones que, al menos durante mucho tiempo, habrían sido neutrales o incluso perjudiciales en términos de aptitud física. La idea es que tales mutaciones podrían predominar en pequeñas poblaciones de, digamos, animales. El beneficio de este enfoque es que los evolucionistas ya no tienen que imaginar una serie de pasos funcionalmente ventajosos desde algún punto de partida hasta la evolución de alguna nueva máquina molecular, órgano u organismo. Pero ese beneficio tiene un costo enorme, un costo que sus proponentes tienden a pasar por alto.

Stephen Meyer, al discutir el trabajo sobre la evolución neutral de Michael Lynch y Adam Abegg, explica con una ilustración de un hombre que cayó en un vasto cuerpo de agua, felizmente libre de depredadores. (La falta de cualquier depredador en la analogía refleja la falta de énfasis de la evolución neutral en la selección natural). El hombre en el agua solo tiene que nadar hacia una escalera en algún lugar de esa vasta masa de agua y salir. El problema es que tiene los ojos vendados y no tiene idea de dónde está la escalera. Ahora, como señala Meyer, si tratara de estimar cuánto le tomaría llegar a la escalera calculando una línea bastante directa entre el hombre y la escalera, se le ocurriría "una estimación fantásticamente optimista de la gravedad del problema". enfrentando a nuestro desafortunado nadador ", porque una línea recta oculta el problema clave al que se enfrenta el nadador, a saber, que no tiene idea de dónde está la escalera, ni ninguna forma de evaluar si se está acercando o alejando de la escalera en un momento dado. Meyer continúa:

> Por lo tanto, cualquier estimación realista de cuánto tiempo le llevará realmente nadar hasta la escala, en lugar de una estimación de la ruta teóricamente más rápida posible, debe tener en cuenta su vagabundeo probablemente sin rumbo, encaja y comienza, nadando en círculos y a la deriva. varias direcciones De manera similar, Lynch y Abegg no cuentan en su cálculo sobre la naturaleza aleatoria, no dirigida y, literalmente, sin rumbo del mecanismo que proponen. En su lugar, asumen erróneamente que los procesos neutrales de la evolución constituirán una línea recta para una adaptación compleja específica. De hecho, estos procesos, con toda probabilidad, también vagarán sin rumbo en un vasto espacio de secuencia de posibilidades neutrales y sin función, sin nada para dirigirlos, o preservarlos en cualquier progreso hacia adelante que puedan lograr, hacia las islas de funciones raras y aisladas representadas por complejas adaptaciones. Por esta razón, Lynch subestima en gran medida los tiempos de espera requeridos para generar adaptaciones complejas y, por lo

tanto, no resuelve el problema del origen de los genes y proteínas o cualquier otra adaptación compleja.[2]

Hay otro problema. No solo el nadador de evolución neutral tiene los ojos vendados, ignorante de dónde necesita ir y sin ningún deseo de llegar allí; hay otras salidas de este gran cuerpo de agua que conducen a su destrucción, o al menos a una extremidad perdida. Eso es porque la evolución no va en una sola dirección. Las mutaciones pueden romper las cosas mucho más fácilmente de lo que pueden hacerlas. Peor aún, esta tendencia a que se rompan las mutaciones no se mantendrá cortésmente mientras la evolución neutral se hace a ciegas en busca de una mutación o una serie de mutaciones que creen algo nuevo.

Es cierto que, a veces, estas rupturas devolutivas conducen a ventajas de nicho, como Michael Behe comenta en su libro *Darwin Devolves* . Pero como señala Behe, en tales casos no se ha construido una nueva maquinaria molecular, y es precisamente el origen de la nueva maquinaria molecular y la información que cualquier explicación evolutiva de la diversificación de la vida debe tener en cuenta, neutral o no. [3]

Las otras propuestas evolutivas alternativas enfrentan deficiencias igualmente devastadoras. [4] Lo que a todos les falta es la salsa secreta en cada gran éxito de ingeniería: previsión, ingenio y planificación.

El principio de previsión o muerte

La necesidad de anticipar, mirar hacia el futuro, predecir problemas potencialmente fatales con el plan y resolverlos antes de tiempo, es observable a nuestro alrededor. De los muchos ejemplos de este libro se desprende claramente que la vida está llena de soluciones cuya necesidad se tuvo que predecir para evitar varios callejones sin salida. Dicho de otra manera, muchas funciones y sistemas biológicos requerían planificación para funcionar. Estas características hablan fuertemente en contra de la teoría evolutiva moderna en todas sus formas, que permanece ligada a los procesos ciegos.

Además, como vimos en el Capítulo 2, la evidencia de la previsión en la naturaleza no se limita a ejemplos de las ciencias de la vida. A medida que investigábamos la Tierra y el cosmos, vimos cómo parece que una mente ingeniosa anticipó y dirigió una gran cantidad de potenciales callejones sin salida, en todo, desde física y cosmología hasta química y geología, situaciones que de otro modo habrían hecho la vida imposible.

Sin previsión, sin vida : en este libro hemos examinado muchos casos que manifiestan este principio. Y estos apenas arañan la superficie. Los numerosos ejemplos de soluciones que anticiparon problemas antes de que surgieran, el ingenio evidente en esas soluciones y la necesidad de la entrega simultánea y orquestada de múltiples componentes completamente funcionales desde el inicio de un sistema dado, representan un desafío importante para la evolución ciega . Y no solo la evolución ciega, sino el materialismo que la sustenta, ya que la

previsión requiere algo más que materia en movimiento. La previsión es un sello de la mente.

Prospectiva e Inteligencia

Nosotros, los humanos, hemos prosperado en la Tierra gracias a muchas de nuestras habilidades únicas. Razonamos, poseemos el poder del habla, creamos herramientas sofisticadas, cultivamos y criamos ganado. Volamos aviones y naves espaciales y nos adentramos en los océanos con submarinos. Escribimos software que manda teléfonos móviles y robots. Sintetizamos polímeros para confeccionar ropa y medicamentos para curarnos de patologías. Cantamos, componemos canciones y obras, y mucho más.

Lo que más nos diferencia en el reino animal, entonces, no es algo mecánico o material; más bien, es nuestra mente. Con nuestras mentes podemos estudiar el pasado, comprender el presente y anticipar el futuro en un grado sin paralelo en el reino animal. Nosotros, más que cualquier otro animal, prevemos.

Y, sin embargo, como hemos presenciado a lo largo de este libro, los actos de una visión extraordinaria son evidentes en todo el mundo natural, en todo, desde las membranas celulares hasta los mecanismos de migración de aves. Y estos ejemplos superan con creces la sofisticación de cualquier ejemplo de previsión de ingeniería que podamos señalar en la cultura humana.

¿A dónde nos invita esta evidencia? Tomemos el caso para la previsión en la naturaleza en pasos:

1. Vemos muchos ejemplos de previsión aparente en el mundo natural, de problemas que se anticipan antes de que surjan y que se resuelvan ingeniosamente con la entrega a tiempo de múltiples partes esenciales y bien orquestadas.
2. nosotros Sabemos por nuestra experiencia uniforme que la capacidad de anticipar y resolver tales problemas es una característica de las mentes inteligentes.
3. No hay ejemplos *demostrados* de procesos sin guía, sin sentido, que anticipen y resuelvan problemas que requieran una orquestación sofisticada de partes afinadas, todas juntas en la planta baja de un evento de origen. Las referencias de mano a los casos que se suponen en lugar de demostrarse no cuentan. Tampoco los argumentos basados en la lógica de planteamiento de preguntas, por ejemplo, "características comunes deben significar ascendencia común" y "descendencia común debe significar evolución ciega".
4. Por lo tanto, nuestra experiencia uniforme nos brinda solo un tipo de causa con la capacidad *demostrada* para anticipar y resolver tales problemas: el diseño inteligente.
5. Por lo tanto, el diseño inteligente representa la mejor y, de hecho, la única explicación causalmente adecuada para los muchos ejemplos de previsión aparente en el mundo

> natural, de situaciones en las que los problemas se resuelven de manera ingeniosa con la entrega a tiempo de múltiples, esenciales y bien orquestados. partes. La previsión no es meramente aparente, sino real.

Esto no quiere decir que no hubo causas secundarias en acción, que nada se desarrolló a partir de patrones similares a la ley y condiciones preexistentes. Estar abiertos a la evidencia de previsión nos deja abiertos a considerar los medios primarios y secundarios. En cada caso en consideración, simplemente podemos seguir la evidencia en lugar de estar limitados por una regla de solicitud de preguntas.

Y si la evidencia apunta a la causa primaria, la causa secundaria o una combinación, todavía se sigue que se requirió una mente para prever los muchos callejones sin salida potenciales y escapar de ellos. La vida y el universo están llenos de estos escapes inteligentes, soluciones ingeniosas que hablan fuertemente a favor del diseño inteligente.

Algo más

Recuerdo una noche oscura en una casa rural de pesca en la ciudad de Santa Fé do Sul, en Brasil. Era una noche clara, y lo suficientemente lejos de una gran ciudad que vi, por primera vez, el gran espectáculo que es el cielo nocturno sin luna sin la contaminación lumínica urbana, una vasta multitud de estrellas brillantes.

Entonces me pregunté: "¿Quién hizo todas estas estrellas incontables y las puso allí?" El impulso de atribuir estas maravillas a alguien es fuerte y casi universal. Pero en estos días, ese impulso está severamente mal visto.

¿Pero el universo simplemente surgió de la nada? ¿No? Bueno, entonces, ¿una máquina mágica generadora de multiversos saltó de la nada y se afinó para generar ocasionalmente universos habitables? Y ya sea que comencemos con nuestro universo o con un multiverso imaginado, ¿el afinamiento de las leyes y las constantes de la naturaleza acaba de surgir? Y a partir de ahí, ¿todo evolucionó a ciegas hasta la primera vida en la Tierra, la primera célula que salía de una sopa primordial al azar? ¿Y de allí la primera vida multicelular, las primeras plantas y animales, los primeros primates, los primeros seres humanos?

Esta es la historia de la creación del ateo.

Debo confesar que, como químico, tengo muy poca fe para creer en tal religión.

Somos testigos de la belleza y la complejidad de la vida en el planeta Tierra, contemplamos las muchas características asombrosas que aparecen tan cuidadosamente planeadas, y se nos pide que creamos que estas maravillas tropezaron ciegamente fuera del vacío frío, solo para regresar a ellas un día. ¿Es cierto, como Carl Sagan entonó en las cadencias sacerdotales al comienzo de su popular serie de PBS, “El Cosmos es todo lo que es o fue o será”? [5]

¿O hay algo más?

A pesar de las maravillas que nos rodean, durante más de un siglo y medio, muchos científicos han estado convencidos de que se han encontrado las respuestas a estas preguntas finales, y que las maravillas del mundo natural se deben, como dijo el biólogo evolutivo Francisco Ayala. al "azar y la necesidad, intrincados conjuntamente en la materia de la vida; la aleatoriedad y el determinismo se entrelazaron en un proceso natural que ha generado las entidades más complejas, diversas y hermosas del universo: los organismos que pueblan la tierra, incluidos los seres humanos que piensan y aman " [6.]

En esta visión, la evolución proporcionó diseño sin un diseñador. Vemos evidencia de diseño intencional en el universo y en nosotros, pero se supone que debemos creer que esto es solo una ilusión, y que, en realidad, un proceso no guiado por nada, excepto las leyes y constantes de la naturaleza, se formó lentamente todo lo que sabemos: El universo, las estrellas, el océano, el cielo y las nubes, el ARN y el ADN, los ribosomas, las bacterias, los peces, las aves, los chimpancés y nosotros.

Así se nos dice.

Lamentablemente, esta historia ha limitado la ciencia, ha reducido nuestros horizontes y ha ahogado nuestra maravilla.

Pero felizmente, un poco de aire fresco finalmente se ha deslizado en la escena. La evidencia de previsión y diseño en la naturaleza es cada vez más evidente a medida que perseguimos el descubrimiento científico. Y, a diferencia de la filosofía materialista, la apertura a la evidencia del diseño inteligente amplía los horizontes de la ciencia.

Este libro ha descrito muchos mecanismos inteligentes de la vida. Pero no son meramente inteligentes. No son solo ventajas que podrían haberse adquirido durante eones de tiempo a través de un proceso evolutivo; son "mostos primordiales", características necesarias desde el principio para que los organismos que las poseen sobrevivan y prosperen. En cada caso, estas soluciones aparecen para que todo el mundo haya sido planeado con anticipación y presente desde el momento del despegue.

La teoría evolutiva moderna tiene poco que ofrecer en términos de explicar esto *sin previsión, sin* principio de *vida* , ya que lo que se necesita es anticipación y planificación, y dicha actividad es exclusiva de las mentes.

Después de una larga noche de naturalismo reprimiendo una investigación científica, las ventanas se han abierto, se están haciendo preguntas nuevas y viejas, y muchos de nosotros nos encontramos involucrados en un debate vigoroso. ¡Muy bien! Deja que los dogmas y las tácticas de supresión se retiren. Tenemos dos teorías primarias para nuestros orígenes. Que los contendientes se pongan de pie; que se presenten las pruebas; y deliberemos y debatamos con un espíritu de buena voluntad y juego limpio. Que gane la teoría que mejor explique la evidencia.

Una búsqueda tan abierta de la verdad es, después de todo, un elemento clave de lo que hace que la ciencia sea emocionante y satisfactoria. Yo, por mi parte, me alegro de estar viviendo ahora, con nuevas ideas, descubrimientos y debates para disfrutar.

¿Cuál será el resultado? No puedo decir con qué rapidez otros científicos estarán dispuestos a seguir la evidencia hacia donde se dirige, pero sí sé que aquellos que estamos dispuestos a prestar atención a la evidencia de la previsión en la naturaleza estamos participando en una revolución científica intelectualmente fascinante y emocionante. Impulsada por nuevas herramientas de investigación y nuevos descubrimientos sobre el mundo, esta revolución se ve enriquecida por el resurgimiento de una idea con un pedigrí real: el diseño. Los padres de la ciencia moderna (Copérnico, Galileo, Kepler, Newton, Boyle y muchos otros) vieron el diseño en el universo y, de hecho, se inspiraron para descubrir las leyes de la naturaleza debido a su creencia en un legislador trascendente.

En cuanto a ese maravilloso viaje de descubrimiento que lanzaron, parece que no hay un final a la vista. El premio Nobel JJ Thomson, uno de los gigantes de la física moderna primitiva, el descubridor del electrón y el padre de la espectrometría de masas, mi campo de especialización, transmitió bellamente esta visión optimista y abierta de la ciencia. No se me ocurren mejores palabras para concluir un libro sobre un mundo lleno de evidencia de previsión, palabras tan verdaderas hoy como cuando Thomson las escribió a principios del siglo veinte:

> La suma de conocimientos es en la actualidad, en cualquier caso, una serie divergente, no convergente. Mientras conquistamos pico tras pico, vemos frente a nosotros regiones llenas de interés y belleza, pero no vemos nuestro objetivo, no vemos el horizonte; en la torre de la distancia, picos aún más altos, que cederán a aquellos que los ascienden, perspectivas aún más amplias, y profundizarán el sentimiento, cuya verdad es enfatizada por cada avance en la ciencia, que "Grandes son las Obras del Señor". [7]

NOTAS FINALES

1. PREVISIÓN EN LA VIDA

1 . Sheref S. Mansy et al., “Síntesis dirigida por plantilla de un polímero genético en una protocélula modelo”, *Nature* 454 (2008): 122.

2 . Aquí recuerdo la complejidad de los medidores de temperatura electrónicos y medidores de pH utilizados en mi trabajo como químico.

3 . Diego de Mendoza, "Membranas de detección de temperatura", *Revisión anual de Microbiología* 68, no. 1 (septiembre de 2014): 101–16, https://doi.org/10.1146/annurev-micro-091313-103612 .

4 . Jack W. Szostak, David P. Bartel y P. Luigi Luisi, "Synthesizing Life", *Nature* 409, no. 6818 (2001): 387-90.

5 . David J. Siminovitch, PTT Wong y Henry H. Mantsch, "Efectos de la insaturación Cis y Trans en la estructura de las bicapas de fosfolípidos: un estudio espectroscópico de infrarrojos de alta presión", *Biochemistry* 26, no. 12 (1987): 3277-87.

6 . Sheref S. Mansy et al., “Síntesis dirigida por plantillas”, 122–5. Ver también Charles L. Apel, David W. Deamer y Michael N. Mautner, "Vesículas autoensambladas de ácidos monocarboxílicos y alcoholes: condiciones para la estabilidad y para la encapsulación de biopolímeros", *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes* 1559 , no. 1 (2002): 1–9.

7 . Armen Y. Mulkidjanian, Michael Y. Galperin y Eugene V. Koonin, "Coevolución de membranas primordiales y proteínas de membrana", *Tendencias en ciencias bioquímicas* 34, no. 4 (2009): 206-15.

8 . Mulkidjanian, Galperin y Koonin, "Coevolución de las membranas primordiales", 206.

9 . Mario Borgnia et al., "Biología celular y molecular de los canales de agua de acuaporina", *Revisión anual de bioquímica* 68 (1999): 425–58.

10 . Kazuyoshi Murata et al., “Determinantes estructurales de la permeación de agua a través de Aquaporin-1”, *Nature* 407 (2000): 599–605.

11 . Urszula Kosinska Eriksson et al., "Subangstrom Resolution X-Ray Structure Details Aquacina-agua Interacciones", *Science* 340, no. 6138 (2013): 1346-1349.

12 . "Premio Nobel de Química 2003", *Premio Nobel* , Nobel Media AB, https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2003/ .

13 . Esta frase es de Richard Dawkins, *Climbing Mount Improbable* (Nueva York: WW Norton & Company, 1996).

2. UN MUNDO PREVISTO PARA LA BIOQUÍMICA

1 . Para obtener más información sobre las constantes universales y el universo intrincado y afinado, ver: Ethan Siegel, "Se necesitan 26 constantes fundamentales para darnos nuestro universo, pero aún no lo dan

todo" , *Forbes* , 22 de agosto de 2015, https://www.forbes.com/sites/ethansiegel/2015/08/22/it-takes-26-fundamental-constants-to-give-us-our-universe-but-they-still-dont-give- Todo / # 2209877a4b86 .

2 . Vea a Geraint F. Lewis y Luke A. Barnes, *Un universo afortunado: la vida en un cosmos afinado* (Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, 2016). Para obtener un resumen en línea más antiguo, consulte Jay W. Richards, "Lista de parámetros de ajuste fino", Centro de Ciencia y Cultura de Discovery Institute, https://www.discovery.org/f/11011 .

3 . Fred Hoyle, "El universo: reflexiones pasadas y presentes", *Ingeniería y Ciencia* 45, no. 2 (1981): 8.

4 . "Las propiedades peculiares del hielo", *Evolution News & Science Today* , 7 de agosto de 2012, https://evolutionnews.org/2012/08/the_peculiar_pr_1/ .

5 . Preston Dyches y Felicia Chou, "El sistema solar y más allá están inundados de agua" , *NASA* , 7 de abril de 2015, https://www.nasa.gov/jpl/the-solar-system-and-beyond-is-awash -in-agua .

6 . Para una exploración más completa de las propiedades casi milagrosas del agua, vea a Michael Denton, *The Wonder of Water: Profound Fitness for Life en la Tierra y la humanidad* (Seattle, WA: Discovery Institute Press, 2017).

7 . Una vez se publicó en *Nature* un famoso y controvertido "memoria del agua", que ejemplifica cómo se puede proponer y publicar una teoría atractiva en prestigiosas revistas sin mucha evidencia sólida, si es que hay alguna. El documento informó el por qué y cuándo, pero no abordó la cuestión crítica de cómo. El artículo: E. Davenas et al., "Desgranulación de basófilos humanos activada por antisuero muy diluido contra IgE", *Nature* 333, no. 6176 (1988): 816-8.

8 . Para una discusión detallada en línea de las muchas propiedades anómalas amigables con la vida, vea Martin Chaplin, "Propiedades anómalas del agua", Estructura y ciencia del agua, http://www1.lsbu.ac.uk/water/water_anomalies.html . Para una breve discusión en línea, vea Steven Dutch, "Ice Floats", Intelligent Design. Inteligentemente, http://www.stevedutch.net/Pseudosc/IntelIntel.htm. Dutch hace varios puntos buenos, aunque caracteriza erróneamente la teoría del diseño cerca del final de la sección. Él escribe: "Entonces, ¿por qué los Diseñadores Inteligentes no dicen mucho acerca de las propiedades notables del agua? Bueno, el hecho de que el agua no solo se organiza en una estructura cuando se congela, sino que en realidad lo hace con la fuerza suficiente para obligar a las cosas a darle espacio, hace que se abra un gran agujero en su reclamación de que el orden no puede surgir de procesos naturales ". Pero los "Diseñadores Inteligentes" en realidad *han* hecho un gran problema con las propiedades notables del agua. Guillermo González y Jay Richards, ambos defensores de la identificación, lo hicieron en su libro *The Privileged Planet*, publicado tres años antes de que Dutch creara la página. Más recientemente, el Discovery Institute, un centro institucional para científicos y académicos que exploran y defienden la teoría del diseño inteligente, publicó un libro sobre el tema, *The Wonder of Water* de Michael Denton. Además, la teoría de la inteligencia *no* afirma que el orden no pueda surgir de los procesos naturales. William Dembski, por ejemplo, en su libro de Cambridge University Press *The Design Inference de 1998* , y en muchos trabajos de diseño inteligente posteriores, hace una distinción entre el orden periódico de cosas tales como cristales y remolinos, por un lado, y por otro lado , lo que él denomina *información especificada compleja*(CSI), que no es aleatorio sino también aperiódico, como lo encontramos en el lenguaje humano, los programas de computadora y el ADN. Generar cantidades significativas de CSI novedoso a través de fuerzas naturales ciegas: eso es lo que los teóricos del diseño argumentan que no sucede. Más sobre las maravillas del ADN en un capítulo posterior.

9 . Holandés, "flotadores de hielo".

10 . Sand a M. Charles Poncy, 12 de septiembre de 1844, en *Letters of George Sand: vol. 1* , trans. Raphaël Ledo de Beaufort (Londres: Ward y Downey, 1886), 355.

11 . Para una discusión de algunos de estos factores, vea Bess B. Ward y Marlene M. Jensen, "El ciclo del nitrógeno microbiano", *Frontiers in Microbiology* 5 (2014): 553.

12 . Asta Juzeniene y Johan Moan, "Efectos benéficos de la radiación UV que no sea a través de la producción de vitamina D", *Dermato-Endocrinología* 4, no. 2 (2014): 109-117.

13 . "Ozone: Good Up High, Bad Nearby", Oficina de Aire y Radiación, Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU., Junio de 2003, https://www3.epa.gov/airnow/gooduphigh/ozone.pdf .

14 . Fakhra Anwar et al., "Causas del agotamiento de la capa de ozono y sus efectos en la salud [Salud]: Revisión," *Ciencias atmosféricas y climáticas* 6 (2016): 129–134.

15 . David L. Drapcho, Douglas Sisterson y Romesh Kumar, "Fijación de nitrógeno por actividad de rayos en una tormenta eléctrica", *Atmospheric Environment* 17, no. 4 (1983): 729-734.

16 . Martin A. Uman, "Natural Lightning", *Transacciones IEEE en aplicaciones de la industria* 30, no. 3 (1994): 785e90.

17 . VA Rakov, "The Physics of Lightning", *Surv Geophys* 34 (2013): 701–729.

18 . Donald E. Canfield, Alexander Glazer y Paul G. Falkowski, "La evolución y el futuro del ciclo del nitrógeno en la Tierra", *Science* 330, no. 6001 (2010): 193.

19 . EE Ferguson y WF Libby, "Mecanismo para la fijación de nitrógeno por rayos", *Nature* 229 (1971): 37.

20 . David Fowler et al., "El ciclo global del nitrógeno en el siglo XXI", *Transacciones filosóficas de la Royal Society B: Biological Sciences* 368, no. 1621 (2013): 1.

21 . Fowler, "El ciclo global del nitrógeno", 1–2. Como señalan además, las moléculas de NO_x también desempeñan funciones clave "en la producción fotoquímica de ozono y otros oxidantes clave y especies radicales". Véase también JN Galloway et al., "Ciclos de nitrógeno: pasado, presente y futuro", *Biogeochemistry* 70 , no. 2 (2007): 153–226; Richard P. Wayne, *Chemistry of Atmospheres* (Oxford: Clarendon Press, 1991); ISA Isaksen, et al., "Cambio en la composición atmosférica: interacciones entre clima y química", *Ambiente* 43, no. 33 (2009): 5138-5192.

22 . Fowler, "El ciclo global del nitrógeno", 2.

23 . Andrei Linde, "Multiverso: Una breve historia del multiverso", *Informes sobre el progreso en física* 80, no. 2 (2015).

24 . Para una exploración en profundidad de los ajustes finos y el caso a favor y en contra de la solución multiverso para el problema de los ajustes precisos, vea Lewis y Barnes, *A Fortunate Universe* .

25 . Para un caso extendido de que la sintonización cosmética y planetaria se explica mejor por referencia a una causa inteligente, vea a Guillermo González y Jay W. Richards, *El planeta privilegiado: Cómo nuestro lugar en el cosmos está diseñado para el descubrimiento* (Washington, DC: Regnery, 2004).

26 . Nancy R. Pearcey y Charles B. Thaxton, *El alma de la ciencia: la fe cristiana y la filosofía natural* (Wheaton, IL: Crossway Books, 1994).

27 . Departamento de Educación del Estado de *Kansas* , Comité de Desarrollo de *Estándares* , *Estándares de Educación en Ciencias de Kansas* , febrero de 2007, xii, http://www.rv337.com/pages/uploaded_files/sci_standards_Aug07b.pdf .

28 . Gary J. Nabel, "Las coordenadas de la verdad", *Science* 326, no. 5949 (2009): 53-54.

3. EL CÓDIGO DE LA VIDA

1 . Manfred Eigen et al., "¿Cuántos años tiene el Código Genético? Geometría estadística de ARNt proporciona una respuesta," *Science* 244, no. 4905 (1989): 673-79.

2 . Feng Yue et al., "Una enciclopedia comparativa de elementos de ADN en el genoma del ratón", *Nature* 515 (2014): 355–364. Según algunas estimaciones, los genomas difieren solo entre el 3% y el 8% de una especie de mamífero a otra. Esto puede ser cierto para los mamíferos, pero no para otras especies. Un examen detallado de las moscas de la fruta, por ejemplo, reveló que "solo el 77% de los aproximadamente 13,700 genes codificantes de proteínas en *D. melanogaster* se comparten con las otras once especies". Citado en "Los científicos comparan los doce genomas de la mosca de la fruta". National Institutes of Health, 7 de noviembre de 2007, https://www.nih.gov/news-events/news-releases/scientists-compare-twelve-fruit-fly-genomes .

3 . Existen estimaciones muy diferentes para el porcentaje de información genética compartida en común entre humanos y bananos. Para obtener la cifra del 60%, consulte a Lydia Ramsey y Samantha Lee, "Nuestro ADN es 99.9% el mismo que la persona que está a nuestro lado, y nos parecemos sorprendentemente a muchos otros seres vivos", *Business Insider* , 3 de abril de 2018 , http://www.businessinsider.com/comparing-genetic-similarity-between-humans-and-other-things-2016-5 .

4 . FH Westheimer, "¿Por qué la naturaleza eligió los fosfatos?", *Science* 235, no. 4793 (1987): 1173-1178.

5 . Ryszard Kierzek, Liyan He y Douglas H. Turner, "Asociación de 2'-5 'Oligoribonucleótidos", *Nucleic Acids Research* 20, no. 7 (1992): 1685-1690.

6 . Shina C. Kamerlin et al., "¿Por qué la naturaleza realmente eligió el fosfato?", *Revisiones trimestrales de biofísica* 46, no. 1 (2013): 1–132, https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23318152 .

7 . Gaspar Banfalvi, "Por qué se seleccionó la ribosa como el componente de azúcar de los ácidos nucleicos", *DNA Cell Biology* 25, no. 3 (2006): 189-96.

8 . James Tour, "Animadversions of a Synthetic Chemist", *Inference: International Review of Science* , 2.2 (mayo de 2016), https://inference-review.com/article/animadversions-of-a-synthetic-chemist .

9 . Stephen J. Freeland y Laurence D. Hurst, "El código genético es uno en un millón", *Journal of Molecular Evolution* 47 (1998): 238–248. Tenga en cuenta que para el ADN con su azúcar desoxirribosa, se eliminó el grupo 2'-OH, por lo que la hidrólisis del ADN ya no es asistida por un TS intramolecular favorecido y, por lo tanto, el ataque de una base debe provenir de "afuera". El ADN está bien protegido de la hidrólisis, ya que está completamente rodeado por un blindaje eléctrico provisto por el alambre de anión fosfato descrito anteriormente.

10 . Gerald F. Joyce, "La antigüedad de la evolución basada en ARN", *Nature* 418 (2002): 214-221. ¿Cómo ayuda el grupo 2'-OH aparentemente "silencioso" a que el ARN se hidrolice unas cien veces más rápido que el ADN? Es una maravilla de la ingeniería. A través de un intermedio cíclico, con asistencia intramolecular del grupo OH en la posición 2 'del ciclo de la ribosa (calibrado nanométricamente para estar allí), se forma un estado de transición de seis miembros cuando una base, en un medio alcalino, lo ataca, eliminando Su protón ácido. Esto forma un intermedio de anión alcoxi, que luego ataca intramolecularmente el cable de fosfato en un mecanismo SN2 bien coordinado, rompiendo el cable y, por lo tanto, "digiriendo" el ARN.

11 . Philip Ball, "DNA: Celebra lo desconocido", *Nature* 496 (2013): 419–420.

12 . "¿Por qué la madre naturaleza usó Uracil para reemplazar la timina en el ARNm (ácido ribonucleico mensajero)? ¿Cuál es la ventaja de usar U en lugar de T en el ARN?" *NSTA WebNews Digest* , National Science Teachers Association, 16 de septiembre de 2006, http://www.nsta.org/publications/news/story.aspx?id=52606 .

13 . AM Lesk, "¿Por qué el ADN contiene timina y ARN uracilo?" *Diario de Biología Teórica* 22, no. 3 (1969): 537-40; Greg A. Freyer y Michael Sturr, "¿Por qué la madre naturaleza usó Uracil para reemplazar la timina?" (Tenga en cuenta que la cita de este artículo en la nota final (sans Freyer y Sturr) corresponde a una declaración de los editores del resumen que establece más pregunta que Freyer y Sturr responden en sus respuestas.)

14 . Michael Onken, "¿Por qué Uracil reemplaza a la timina en el ARN?" MadSci Network, 11 de noviembre de 1997, http://www.madsci.org/posts/archives/dec97/879354206.Bc.r.html .

15 . Jörgen Jonsson, Maria Sandberg y Svante Wold, "La transición evolutiva de uracilo a timina equilibra el código genético", *Journal of Chemometrics* 10, no. 2 (1996): 163.

16 . Beáta G. Vértessy y Judit Tóth, "Manteniendo el uracilo fuera del ADN: rol fisiológico, estructura y mecanismo catalítico de los dUTPases", *Cuentas de Investigación Química* 42, no. 1 (2009) 97-106.

17 . Freyer, responda a "¿Por qué la madre naturaleza usó Uracil?" (Citado arriba).

18 . Walter Gilbert, "Origen de la vida: el mundo del ARN", *Nature* 319 (1986): 618.

19 . David J. D'Onofrio y David L. Abel, "La redundancia del Código genético permite la pausa traslacional", *Frontiers in Genetics* 5 (2014): 1.

20 . Christina E. Brule y Elizabeth J. Grayhack, "Codones sinónimos: elegir sabiamente para la expresión", *Genet de tendencias*. 33: 4 (2017): 283–97.

21 . Thomas Charles Butler et al., "Optimalidad extrema del código genético a partir de un cálculo de dinámica molecular del requerimiento polar de aminoácidos", *Physical Review E* 79, no. 6 parte 1 (2009): 060901.

22 . "El Premio Nobel de Química 2015", *el Premio Nobel* , Nobel Media AB, https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2015/ .

23 . "El Premio Nobel de Química 2016", *el Premio Nobel* , Nobel Media AB, https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2016/ .

24 . Kelson MT Oliveira y Elaine Harada, "Rutas sintéticas de los bloques de construcción fundamentales de la vida: estudio computacional de la energía libre de reacción", *Revista Processos Químicos* 18 (2015): 139–143, http://bkp.sbqt-2015.net .br / arquivos / Anais / RPQ_sbqt_2015_especial_12NovV2.pdf .

25 . Gary Habermas, "Mi peregrinación del ateísmo al teísmo: una discusión entre Antony Flew y Gary Habermas", *Publicaciones y presentaciones de la facultad* , Liberty University, 2004, 201, https://digitalcommons.liberty.edu/cgi/viewcontent.cgi?article = 1336 & context = lts_fac_pubs .

26 . Francis H. Crick, "El origen del código genético", *Journal of Molecular Biology* 38, no. 3 (1968): 367-79.

4. LOS AYUDANTES DE LA VIDA

1 . Sylvia S. Mader, *Biología: 10a edición* (Nueva York: McGraw Hill, 2009), 236.

2 . A. Ralston, "Operons and Prokaryotic Gene Regulation", *Nature Education* 1, no. 1 (2008): 216.

3 . James Shapiro, "Una visión de la evolución en el siglo XXI: arquitectura del sistema genómico, ADN repetitivo e ingeniería genética natural" , *Gene* , 345, no. 1, (2005), 92-93.

4 . Carl Zimmer, "Los científicos están diseñando proteínas artesanales para su cuerpo", *The New York Times* , 26 de diciembre de 2017, https://www.nytimes.com/2017/12/26/science/protein-design-david-baker.html .

5 . Lars Giger et al., "La evolución de una retro-aldolase diseñada lleva a completar la remodelación del sitio activo", *Nature Chemical Biology* 9 (2013): 494–498.

6 . F. Ulrich Hartl, Andreas Bracher y Manajit Hayer-Hartl, "Chaperonas moleculares en el plegamiento de proteínas y en la proteostasis", *Nature* 475 (2011): 324.

7 . RA Quinlan y RJ Ellis, "Chaperones: necesarios tanto para los buenos tiempos como para los malos tiempos", *Transacciones filosóficas de la Royal Society B* 368, no. 1617 (2013): 20130091.

8 . Laurence A. Moran, "plegamiento de proteínas, acompañantes, y los idiotas," *Sandwalk* 20 de agosto de 2011, http://sandwalk.blogspot.com.br/2011/08/protein-folding-chaperones-and-idiots.html .

9 . Susmita Kaushik y Ana Maria Cuervo, "Proteostasis and Aging", *Nature Medicine* 21, no. 12 (2015): 1406.

10 . M. Beissinger y J. Buchner, "Cómo las chaperonas pliegan las proteínas", *Journal of Biological Chemistry* 379, no. 3 (1988): 245.

11 . Antony Latham, "Nueva investigación sobre plegamiento de proteínas demuestra diseño inteligente", Centro para el Diseño Inteligente, julio de 2011, https://www.c4id.org.uk .

12 . Moran, "Protein Folding".

13 . NM Lissin, S. Yu. Venyaminov, y AS Girshovich, "(Mg-ATP) -Autoensamblaje dependiente de Molecular Chaperone GroEL", *Nature* 348 (1990): 339-342.

14 . Satish Babu Moparthi et al., "Remodelación conformacional transitoria de proteínas plegables por GroES: individualmente y en concierto con GroEL", *Journal of Chemical Biology* 7, no. 1 (2014): 11.

15 . Bruce Alberts et al., *Biología Molecular de la Célula: Sexta Edición* (Nueva York: Garland Science, 2017), 355.

16 . F. Ulrich Hartl y otros, "Protein Folding", 326.

17 . F. Ulrich Hartl y otros, "Protein Folding", 325.

18 . Moran, "Protein Folding".

19 . Quinlan y Ellis, "Chaperones".

20 . Quinlan y Ellis, "Chaperones".

21 . Clyde A. Hutchison III et al., "Diseño y síntesis de un genoma bacteriano mínimo", *Science* 351, no. 6280 (2016): 1414.

22 . Koji Yonekura, Saori Maki-Yonekura y Keiichi Namba, "Construyendo el modelo atómico para el filamento flagelar bacteriano mediante criomicroscopía electrónica y análisis de imagen," *Estructura* 13, no. 3 (2005): 407–12. Para obtener más información sobre la exquisita estructura del filamento flagelar, consulte también Saori Maki-Yonekura, Koji Yonekura y Keiichi Namba, "Movimientos de dominio de HAP2 en el proceso de formación y crecimiento del complejo de filamento de filamento bacteriano", *Procedimientos de Academia Nacional de Ciencias* 100, no. 26 (2003): 15528-33.

23 . Para obtener más información sobre la tapa flagelar y cómo sugiere un diseño inteligente, incluido un video animado, consulte a Jonathan M., "La tapa de filamento flagelar: uno de los movimientos más dinámicos en estructuras de proteínas", *Evolution News & Science Today* , 3 de agosto de 2013 , https://evolutionnews.org/2013/08/the_flagellar_f/ .

24 . Jonathan M., "La gorra de filamento flagelar".

25 . DF Blair y KT Hughes, "¿Complejidad irreducible? ¡No! "En *Microbios y Evolución: El mundo que Darwin nunca vio* , eds. R. Kolter y S. Maloy (Washington, DC: ASM Press, 2012), 275–80; W. Ford Doolittle y Olga Zhaxybayeva, "Evolución: Complejidad reducible: el caso de los flagelos bacterianos", *Current Biology* 17, no. 13 (2007): R510-2.

26 . Jonathan M., "La gorra de filamento flagelar".

27 . Kenneth R. Miller, "El defecto en la ratonera: el diseño inteligente falla el examen de bioquímica", *Historia Natural* 75 (2002).

28 . Shin-Ichi Aizawa, "Lo que es esencial para la asamblea *flagelar* ", *Pili y Flagella: Investigación actual y tendencias futuras* (Norfolk, Reino Unido: Caister Academic Press, 2009), 91.

5. BACTERIA, INSECTOS Y PLANTAS CARNÍVORAS

1 . Para obtener más información sobre la sinergia de los microbios y la vida, consulte: "Cómo los microbios hacen que la Tierra sea habitable", *Evolution News & Science Today* , 10 de febrero de 2016, https://evolutionnews.org/2016/02/how_microbes_ma/ ; "Más sobre cómo los microbios hacen que la Tierra sea habitable", *Evolution News & Science Today* , 14 de febrero de 2016, https://evolutionnews.org/2016/02/more_on_how_mic/ .

2 . J. Gijs Kuenen, "Anammox Bacteria: del descubrimiento a la aplicación", *Nature Reviews Microbiology* 6, no. 4 (2008): 320–6. Véase también Andreas Dietl et al., "El funcionamiento interno del complejo multiproteínas de la hidracina sintasa", *Nature* 527, no. 7578 (2015): 394, https://www.nature.com/articles/nature15517 .

3 . Laura van Niftrik y Mike SM Jetten, "Bacterias anaerobias que oxidan el amonio: microorganismos únicos con propiedades excepcionales", *Microbiology Molecular Biology Reviews* 76, no. 3 (2012): 586, https://mmbr.asm.org/content/76/3/585 .

4 . Mike SM Jetten et al., "Bioquímica y biología molecular de bacterias Anammox", *Revisiones críticas en bioquímica y biología molecular* , 44, no. 2-3 (junio de 2009), 65.

5 . Jetten et al., "Bioquímica y biología molecular de Anammox", 65–84.

6 . Marcel MM Kuypers et al., "La oxidación anaeróbica de amonio por bacterias Anammox en el Mar Negro", *Nature* 422 (2003): 608–611. Ver también Laura van Niftrik y Mike SM Jetten, "Bacterias anaerobias oxidantes de amonio: microorganismos únicos con propiedades excepcionales", *Microbiology Molecular Biology Reviews* 76, no. 3 (2012): 585–596.

7 . Van Niftrik y Jetten, "Bacterias anaerobias que oxidan el amonio", 585.

8 . Para obtener más información sobre las propiedades y usos de la hidracina, consulte "Hidrazina", *PubChem Compound Database* , Centro Nacional de Información Biotecnológica, consultado el 20 de septiembre de 2018, https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/hydrazine#section=Top .

9 . Laura A. van Niftrik et al., "El anammoxosoma: un compartimento intracitoplásmico en bacterias Anammox", *FEMS Microbiology Letters* 233, no. 1 (2004): 7-13.

10 . Jaap S. Sinninghe Damsté et al., "Los lípidos de ciclobutano concatenados linealmente forman una membrana bacteriana densa", *Nature* 419 (2002): 708–712.

11 . Jack van de Vossenberg et al., "Enriquecimiento y caracterización de bacterias marinas de Anammox asociadas con la producción mundial de gas nitrógeno", *Environmental Microbiology* 10, no. 11 (2008): 3120.

12 . "La ciencia de cohetes en un microbio salva el planeta", *Evolution News & Science Today* , 23 de noviembre de 2015, https://evolutionnews.org/2015/11/rocket_science_1/ ; "Tagish Lake Meteorite no resuelve el problema de homoquiralidad", *Evolution News & Science Today* , 30 de julio de 2012, https://evolutionnews.org/2015/11/rocket_science_1/t .

13 . Andreas Dietl et al., "El funcionamiento interno del complejo multiproteínas de la hidracina sintasa", *Nature* 527 (noviembre de 2015), 394.

14 . "La ciencia de los cohetes en un microbio".

15 . Holger Daims et al., "Nitrificación completa por bacterias Nitrospira", *Nature* 528 (2015): 504–509.

16 . Joseph Stromberg, "Este insecto tiene los únicos engranajes mecánicos que se han encontrado en la naturaleza", *Smithsonian Magazine* , 12 de septiembre de 2013, https://www.smithsonianmag.com/science-nature/this-insect-has-the-only-mechanical -gears-ever-found-in-nature-6480908 / # Jh26s1gRI4ObrI15.99 .

17 . Malcolm Burrows y Gregory Sutton, "Los engranajes interactivos sincronizan los movimientos de las piernas propulsivos en un insecto saltarín" , *Science* , 341, no. 6151 (septiembre de 2013), 1254.

18 . Universidad de Cambridge, "Funcionamiento 'Engranajes mecánicos' vistos en la naturaleza por primera vez", 12 de septiembre de 2013, https://www.cam.ac.uk/research/news/functioning-mechanical-gears-seen-in- La naturaleza por primera vez .

19 . Jo Marchant, "Descifrando el Mecanismo de Antikythera, la Primera Computadora", *Smithsonian Magazine* , febrero de 2015, https://www.smithsonianmag.com/history/decoding-antikythera-mechanism-first-computer-180953979/ .

20 . "Tyson Shrimp en la televisión", 2 de julio de 1999, *Great Yarmouth News* , Town Center Partnership, http://gytcp.co.uk/news/tyson-shrimp-on-tv-710.html .

21 . SN Patek, WL Korff y RL Caldwell, "Biomecánica: Mecanismo de ataque mortal de un camarón Mantis", *Nature* 428 (2004): 819–820.

22 . Ella Davies, "Los golpes y patadas más poderosos de todos los tiempos" , *Earth* , BBC, 6 de junio de 2017, http://www.bbc.com/earth/story/20170605-the-most-powerful-punches-and- patadas-de-todos los tiempos .

23 . Ed Yong, "Cómo los camarones mantis entregan golpes que rompen armaduras sin romper sus puños" , *Descubra* , 7 de junio de 2012, http://blogs.discovermagazine.com/notrocketscience/2012/06/07/how-mantis-shrimps-deliver -Puertas de aplastar-golpes-sin-romper-sus-puños / #. W9IHrGhKhPY .

24 . TI Zack, T. Claverie, SN Patek, "Almacenamiento de energía elástica en la rápida huelga depredadora del camarón Mantis", *Journal of Experimental Biology* 212 (2009): 4002–4009.

25 . Ella Davies, "Los golpes más poderosos".

26 . Ed Yong, "El camarón Mantis tiene el golpe más rápido del mundo", *National Geographic* , 19 de junio de 2008, https://www.nationalgeographic.com/science/phenomena/2008/07/19/the-mantis-shrimp-has-the-worlds-fast-punch-? user.testname = lazyloading: 1 .

27 . Zack, "Almacenamiento de energía elástica en el rápido golpe depredador del camarón Mantis".

28 . Yong, "El camarón Mantis tiene el ponche más rápido del mundo".

29 . James C. Weaver y otros, "The Stomatopod Dactyl Club: un formidable martillo biológico tolerante a los daños", *Science* 336, no. 6086 (2012): 1275-80.

30 . Yong, "cómo los camarones mantis entregan golpes que destruyen la armadura".

31 . Ed Yong, "El camarón Mantis tiene el ponche más rápido del mundo".

32 . John Brittnacher, "¿Qué son las plantas carnívoras?" Sociedad Internacional de Plantas Carnívoras, enero de 2010, http://www.carnivorousplants.org/cp/carnivory/what . Para un trabajo enciclopédico que abarca la ecología, la diversidad y la historia natural de las plantas carnívoras, vea Stewart

McPherson, *Plantas carnívoras y sus hábitats* , vols. 1 y 2, eds. Andreas Fleischmann y Alastair Robinson (Dorset, Reino Unido: Redfern Natural History Productions Ltd., 2010).

33 . Aaron M. Ellison y Nicholas J. Gotelli, "La energía y la evolución de las plantas carnívoras: las" plantas más maravillosas del mundo " *de* Darwin", *Journal of Experimental Botany* 60, no. 1 (2009): 21.

34 . Brittnacher, "¿Qué son las plantas carnívoras?"

35 . Para obtener una descripción detallada de esta planta, consulte " *Dionaea muscipula* — The Venus Flytrap", *Botanical Society of America* , https://botany.org/Carnivorous_Plants/venus_flytrap.php .

36 . R. Hedrich y E. Neher, "Venus Flytrap: Cómo funciona una planta carnívora y excitable", *Trends in Plant Science* , 23, no 3 (2018): 220.

37 . El esquema del ciclo de la figura 5.4 se adaptó de Hedrich y Erwin, "Venus Flytrap", 220-234.

38 . Aaron M. Ellison y Nicholas J. Gotelli, "La energía y la evolución de las plantas carnívoras: las" plantas más maravillosas del mundo " *de* Darwin", *Journal of Experimental Botany* 60, no. 1 (2009): 19.

39 . Brittnacher, "¿Qué son las plantas carnívoras?"

40 . Para ver más ejemplos de devolución y el problema que este patrón plantea para la teoría evolutiva moderna, vea a Michel Behe, *Darwin Devolves: La nueva ciencia sobre el ADN que desafía la evolución* (San Francisco: HarperOne, 2019).

6. AVES: UN ESTUDIO DE CASOS SOBRE PROSPECTIVA

1 . Anders Hedenström et al., "Fase de vida aérea anual de 10 meses en el *Apus apus* común de Swift ," *Current Biology* 26, no. 22 (2016): 3066-3070.

2 . Wolfgang Wiltschko y Roswitha Wiltschko, "Orientación magnética en las aves", *Journal of Experimental Biology* 199, pt. 1 (1996): 29–38.

3 . Anja Günther et al., "La localización de doble cono y el patrón de expresión estacional sugieren un papel en la magnetorecepción para el criptocromo 4 de Robin europeo", *Current Biology* 28 (2018): 211–223; Atticus Pinzon-Rodriguez, Staffan Bensch y Rachel Muheim, "Patrones de expresión de genes criptocromos en la retina aviar, sugieren la participación de Cry4 en la Magnetorecepción dependiente de la luz", *Journal of The Royal Society Interface* 15, no. 140 (2018): 20180058.

4 . David Kaiser, "Is Quantum Entanglement Real?" *New York Times* , 14 de noviembre de 2014, https://www.nytimes.com/2014/11/16/opinion/sunday/is-quantum-entanglement-real.html .

5 . Albert Einstein, Boris Podolsky y Nathan Rosen, "¿Puede considerarse completa la descripción cuántica-mecánica de la realidad física?" *Physical Review* 47 (1935): 777.

6 . Juan Yin et al., "Límite inferior de la velocidad de las correlaciones no locales sin localidades y mudas de elección de medición", *Physical Review Letters* 110 (2013): 260407.

7 . Klaus Schulten y Albert Weller, "Explorando los procesos rápidos de transferencia de electrones por campos magnéticos", *Biophysical Journal* 24 (1978): 295–305.

8 . Brian Brocklehurst y Keith Alan McLauchlan, "Mecanismo de radicales libres para los efectos de los campos electromagnéticos ambientales en sistemas biológicos", *Revista Internacional de Biología de Radiación* 69 (1996): 3–24.

9 . Thorsten Ritz, Salih Adem y Klaus Schulten, "Un modelo para la captación magnética basada en fotorreceptores en aves", *Biophysical Journal* 78 (2000): 707–718.

10 . Erik M. Gauger y otros, "Enredo de coherencia cuántica sostenida en la brújula aviar", *Physical Review Letters* 106 (2011): 040503.

11 . Lisa Grossman, "En el abrir y cerrar de ojos de Bird, un modelo para la navegación cuántica" , *Wired* , 27 de enero de 2011, https://www.wired.com/2011/01/quantum-birds/ .

12 . Fred Hoyle, "El universo: reflexiones pasadas y presentes", *Revisión anual de Astronomía y Astrofísica* 20 (1982): 16.

13 . P. Hunton, "Investigación sobre la estructura y la calidad de la cáscara de huevo: un *panorama* histórico", *Revista Brasileira de Ciencias Avicolas* 7, no. 2 (2005): 67.

14 . "Cómo las aves obtienen oxígeno dentro de sus huevos", Skunk Bear de NPR, 17 de abril de 2018, https://youtu.be/w-M33PtwtM4 .

15 . Gail Damerow, "¿Qué es un diente de huevo?" *Cackle Hatchery* , 26 de agosto de 2016, https://blog.cacklehatchery.com/what-is-an-egg-tooth/ .

16 . Damerow, "¿Qué es un diente de huevo?"

17 . Damerow, "¿Qué es un diente de huevo?"

18 . Damerow, "¿Qué es un diente de huevo?" Una vez que el pollito se haya liberado de la cáscara, su pico continuará fortaleciéndose y creciendo. Sin embargo, el diente de huevo deja de crecer después de la eclosión, se seca y se cae unos días después.

19 . Citado en Tim Birkhead, *The Most Perfect Thing: Inside (and Outside) a Bird's Egg* (Nueva York: Bloomsbury, 2016), prefacio.

20 . Para algunos escenarios altamente especulativos sobre la evolución de los huevos, consulte: Mary C. Stoddard et al., "Forma aviar del huevo: forma, función y evolución", *Science* 356, no. 6344 (2017): 1249–54; David J. Varricchio y Frankie D. Jackson, "Reproducción en aves mesozoicas y evolución del modo reproductivo aviar moderno", *The Auk* 133, no. 4 (10 de agosto de 2016): 654–84.

7. LA PREVISIÓN EN LA FORMA HUMANA: REPRODUCCIÓN

1 . Jeffrey A. Riffell, Patrick J. Krug y Richard K. Zimmer, "Las consecuencias ecológicas y evolutivas de la quimiotracción de espermatozoides", *Actas de la Academia Nacional de Ciencias* 101, no. 13 (2004): 4501–6.

2 . Janice P. Evans y Harvey M. Florman, "El estado de la unión: la biología celular de la fertilización", *Nature Cell Biology & Nature Medicine* 8, S1 (2002): S57 – S63.

3 . Michael J. Seckl, Neil J. Sebire y Ross S. Berkowitz, "Enfermedad trofoblástica gestacional", *The Lancet* 376, no. 9742 (2010): 717-29.

4 . Sarah Knapton, "Avance en la fertilidad: los científicos descubren cómo se enredan los espermatozoides y los óvulos", *The Telegraph* , 16 de abril de 2014, https://www.telegraph.co.uk/news/science/science-news/10771028/Fertility-breakthrough- científicos-descubrir-cómo-esperma-y-huevo-bind.html .

5 . "Su guía para las hormonas del embarazo: qué esperar", *Qué esperar* , 15 de septiembre de 2016, https://www.whattoexpect.com/pregnancy/pregnancy-health/pregnancy-hormones.aspx .

6 . Phyllis C. Leppert, "Anatomía y fisiología de la maduración cervical", *Obstetricia Clínica y Ginecología* 38, no. 2 (1995): 267-79.

7 . Pei-Yun Tsai et al., "IL-22 regula por incremento la Claudina-2 epitelial para controlar la diarrea y la eliminación del patógeno entérico", *Cell Host & Microbe* 21, no. 6 (2017): 671–81.

8 . Haruka Ishimoto et al., "La expresión de claudina-2 está regulada al alza en los pacientes con síndrome de colon irritable predominantes de diarrea," *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition* 60, no. 2 (2017): 146–50.

9 . Charles Darwin, *El Descenso del Hombre* , 1ª ed. (Londres: John Murray, 1871), 27.

10 . Una encuesta global reciente ha sugerido que la apendicitis ha sido mucho menos común en los países en desarrollo y que "los patrones epidemiológicos de la apendicitis apoyan la idea de que la apendicitis es impulsada por factores ambientales multifactoriales asociados con la industrialización de la sociedad". Ver Mollie Ferris et al. "La incidencia global de la apendicitis: una revisión sistemática de los estudios basados en la población", *Annals of Surgery* 266, no. 2 (2017): 241.

11 . Johan Styrud et al., "Apendicectomía versus tratamiento con antibióticos en la apendicitis aguda: un posible ensayo controlado aleatorizado, multicéntrico," *World Journal of Surgery* 30, no. 6 (2006): 1033-37.

12 . Nicholas B. Hanson y Dennis K. Lanning, "Inducción microbiana de áreas de células B y T en el Apéndice de conejo", *Inmunología comparativa y de desarrollo* 32, no. 8 (2008): 980–91.

13 . Heather F. Smith et al., "Evolución morfológica del cúmulo de mamíferos y el Apéndice cecal", *Comptes Rendus Palevol* 16, no. 1 (2017): 39-57; R. Randal Bolliger et al., "Las biopelículas en el intestino grueso sugieren una función aparente del apéndice vermiforme humano", *Revista de biología teórica* 249, no. 4 (2007): 826-31.

14 . Gregory P. Donaldson, S. Melanie Lee y Sarkis K. Mazmanian, "Biogeografía intestinal de la microbiota bacteriana", *Nature Reviews Microbiology* 14, no. 1 (2016): 20–32.

8. PLANIFICACIÓN PARA LOS SENTIDOS

1 . Jennifer Leong, "Número de colores que se distinguen por el ojo humano", The Physics Factbook, 2006, https://hypertextbook.com/facts/2006/JenniferLeong.shtml .

2 . Leong, "Número de colores".

3 . Gunter Wyszecki, *Color* (Chicago: World Book Inc., 2006), 824.

4 . Aristóteles, *Sobre el alma* , trad. JA Smith, libro 2, The Internet Classics Archive, http://classics.mit.edu//Aristotle/soul.html .

5 . Charles Darwin, *El descenso del hombre y la selección en relación con el sexo* (Londres: John Murray, 1871), 17.

6 . Gordon M. Shepherd, "El sentido humano del olfato: ¿somos mejores de lo que pensamos?" *PLoS Biology* 2 (2004): e146.

7 . John P. McGann, "La pobre olfato humano es un mito del siglo XIX", *Science* 356, no. 6338 (2017): eaam7263.

8 . McGann, "pobre olfato humano".

9 . Trina J. Lapis, Michael H. Penner y Juyun Lim, "Los seres humanos pueden probar los oligómeros de glucosa independientemente del receptor de sabor dulce hT1R2 / hT1R3", *Chemical Senses* 41 (9) (2016): 755–762.

10 . P. Dalton et al., "La fusión de los sentidos: la integración del sabor y el olor por debajo del umbral ", *Nature Neuroscience* 3 (2000): 431–32.

11 . Jürgen Krieger y Heinz Breer, "Recepción olfativa en invertebrados", *Science* 286, no. 5440 (1999): 720-23.

12 . Karl PN Shuker, *Los poderes ocultos de los animales: descubriendo los secretos de la naturaleza* (Londres: Marshall, 2001).

13 . Monika Stengl, "Transducción de feromonas en polillas", *Frontiers in Cellular Neuroscience* 4 (2010): 133.

14 . Stengl, "Transducción de feromonas en polillas", 133.

15 . Steven Linton, *Comprendiendo el dolor para una mejor práctica clínica: una perspectiva psicológica* (Nueva York: Elsevier Health Sciences, 2005).

16 . Jennifer L. Hellier, ed., *Los cinco sentidos y más allá: La enciclopedia de la percepción* (Santa Barbara: Greenwood, 2016).

17 . Steven Pete, "Analgesia congénita: la agonía de no sentir dolor", *BBC News* , 17 de julio de 2012, http://www.bbc.com/news/magazine-18713585 ; Rogene Fisher, "¿El dolor tiene un propósito?" *ABC News* , 13 de mayo de 2005, http://abcnews.go.com/Health/PainManagement/story?id=741257&page=1 .

18 . Ya-Chun Chen et al., "El Regulador Transcripcional PRDM12 es Esencial para la Percepción del Dolor Humano", *Nature Genetics 47 (* 2015): *803–8.*

19 . Mo Costandi, "Incómodamente entumecido: la gente que no siente dolor", *The Guardian* , 25 de mayo de 2015, https://www.theguardian.com/science/neurophilosophy/2015/may/25/the-people-who-feel -no-dolor . Véase también Mazen Kurban et al., "Una mutación sin sentido en el gen *SCN9A* en la insensibilidad congénita al dolor", *Dermatology* 221 (2010): 179–83.

20 . Mehran Karimi y Razieh Fa Llah, "Informe de un caso de insensibilidad congénita al dolor y la anhidrosis (CIPA)", *Revista iraní de neurología infantil* 6, no. 43 (2012): 45.

21 . Karimi y Llah, "A Case Report", 45–48; Mukund D. Rahalkar, Anand M. Rahalkar y SK Joshi, "Serie de casos: insensibilidad congénita al dolor y la anhidrosis", *Indian Journal of Radiology and Imaging* 18, no. 2 (2008): 132–34; Leema R. Peddareddygari, Kinsi Oberoi y Raji P. Grewal, "Insensibilidad congénita al dolor: reporte de un caso y revisión de la literatura", *Informes en Neurological Medicine* 141953 (2014).

22 . Vea a Sarah Novotny y Len Kravitz, "La ciencia de la respiración", disponible en la página de la Universidad de Nuevo México de Kravitz https://www.unm.edu/~lkravitz/Article%20folder/Breathing.html ; vea también Neil S. Cherniack et al., "The Mechanics of Breathing", *Encyclopaedia Britannica* , https://www.britannica.com/science/human-respiratory-system/The-mechanics-of-breathing ; "Recursos IAQUK - Sistema respiratorio", IAQUK, http://www.iaquk.org.uk/ResourcesRespiratory.html .

23 . "Recursos IAQUK - Sistema respiratorio".

24 . Novotny y Kravitz, "La ciencia de la respiración".

25 . Novotny y Kravitz, "La ciencia de la respiración"; Jorge Gallego, Elise Nsegbe y Estelle Durand, "Aprendizaje en control respiratorio", *Modificación de comportamiento* 25, no. 4 (2001): 495–512.

26 . Adam E. Ziemann et al., "La amígdala es un quimiosensor que detecta el dióxido de carbono y la acidosis para provocar el comportamiento del miedo", *Cell* 139, no. 5 (2009): 1012–21, https://doi.org/10.1016/j.cell.2009.10.029 .

27 . Cell Press, "Brain's Fear Center está equipado con un sensor de asfixia incorporado" , *ScienceDaily* , 26 de noviembre de 2009, http://www.sciencedaily.com/releases/2009/11/091125134651.htm .

28 . Jordan W. Smoller et al., "El ortólogo humano del gen ASIC1a del canal iónico sensible al ácido está asociado con el trastorno de pánico y la estructura y función de la amígdala", *Biological Psychiatry* 76, no. 11 (2014), 902-10.

29 . Cell Press, "Brain's Fear Center".

9. LA PROSPECTIVA Y EL FUTURO DE LA CIENCIA

1 . Vladimir Matveev, "Desarrollo de un embrión de pollo", video de YouTube, 2:06, 25 de mayo de 2008, https://www.youtube.com/watch?v=LKvez9duEHQ ; Yusaku Watanabe, "Observación del desarrollo de embriones de polluelos", video de YouTube, 9:45, 26 de noviembre de 2017, https://www.youtube.com/watch?v=uE0uKvUbcfw .

2 . Stephen C. Meyer, *La duda de Darwin: El origen explosivo de la vida animal y el caso del diseño inteligente* (San Francisco: HarperOne, 2013), 328–9.

3 . Michael Behe, *Darwin Devolves: La nueva ciencia sobre el ADN que desafía la evolución* (San Francisco: HarperOne, 2019).

4 . Para obtener más información sobre los problemas a los que se enfrentan los diversos modelos post-Neo-Darwinianos, y por qué la mayoría de ellos no son realmente modelos post-Neo-Darwinianos, consulte los capítulos 4 y 5 de Behe, *Darwin Devolves* , 93–137, y los capítulos 15 y 16. de Meyer, *La duda de Darwin* , 291–335.

5 . *Cosmos* , "Las orillas del océano cósmico", 1. Dirigido por David Oyster et al. Escrito por Carl Sagan, Ann Druyan y Steven Soter. SBP, 28 de septiembre de 1980.

6 . Francisco Ayala, "Chance and Necessity" , *Counterbalance* , http://www.counterbalance.org/evolution/chance-frame.html .

7 . JJ Thomson, "Discurso inaugural", The British Association at Winnipeg, *Nature* 81 (26 de agosto de 1909), 257.

AGRADECIMIENTOS

Estoy profundamente agradecido a tantos que contribuyeron a este libro. En Brasil, debo reconocer a Enézio Almeida Filho por lanzar la identificación en el país y a Augustus Nicodemus Lopes por organizar en la Universidad Mackenzie las primeras conferencias de identificación en Brasil. Por catalizar el libro creando en 2017 el Centro Discovery-Mackenzie para la Investigación en Ciencia, Fe y Sociedad, y por invitarme a ser su coordinador, también estoy muy agradecido a Davi Charles Gomes (canciller) y Benedito Guimarães Aguiar Neto (jefe Universidad de Mackenzie).

En el Instituto Discovery de EE. UU. Estoy eternamente agradecido a Jonathan Witt por sus consejos, sus maravillosas contribuciones en cuanto al estilo, la reorganización de capítulos y figuras y la selección de argumentos. Gracias también a Rachel Adams, que hizo el pase inicial a través del manuscrito, ayudando con la reorganización y el recorte, corrigiendo mi pobre inglés y acercando la prosa al inglés lúcido y pulido (un gran trabajo de hecho). También estoy profundamente agradecido a los científicos Jonathan Wells, Ann Gauger, Guillermo González, Ray Bohlin, Scott Minnich, Matti Leisola, Michael Behe y Brian Miller, así como al médico Howard Glicksman, por brindar asesoramiento en secciones específicas. Gracias también a un excelente corrector de pruebas. (He mantenido su nombre por riesgos de persecución académica).

No puedo dejar de mencionar a Michael Behe, Stephen Meyer, Jonathan Wells, William Dembski, Michael Denton y Douglas Axe por sus inspiradores libros de identificación, Mike Perry por el gran diseño, Brian Gage por la encantadora portada, Otniel Araújo por las grandes ilustraciones, y John West, el Director Asociado del Centro de Ciencia y Cultura de Discovery Institute, por su apoyo y por invitarme a escribir este libro basado en una charla que di en la reunión de 2017 de Alberta ID.

CRÉDITO DE ILUSTRACIONES

Todas las ilustraciones de Otniel Araújo, excepto la Figura 2.2 y la Figura 6.1 .
Figura 2.2 : Adobe Stock / gallinago_media.
Figura 6.1 : Adobe Stock / Creative Mood.

INDEX

A

Abegg, Adam, 140
Abrão, Maurício Simões, 6
Acrosome, 111–112
Activation energy, 67
Adem, Salih, 102
Aizawa, Shin-Ichi, 81
Amino acids, 65–66
Amino esters, 59–61
Anammox bacteria, 84–86
Anammoxosomes, 85–86
Antikythera mechanism, 91
Appendix, human, 119–121, 138
Apus apus, 99
Aquaporins, 21–24
Aristotle, 125
ASIC1a, 134
Atmosphere, 33–35
Augusti, Rodinei, 5
Autotrophs, 84
Avian compass, 102
Ayala, Francisco, 145

B

Bacterial flagellum motor, 77–83
Baker, David, 70
Ball, Philip, 53
Behe, Michael, 77, 80, 141
Bemer, Robert, 62

Benjamin, Simon, 102
Bird
  egg, 103–107
  navigation, 99–103
Boyle, Robert, 146
Brazilian Mass Spectrometry Society, 13
Brittnacher, John, 95
Broca, Paul, 125
Brocklehurst, Brian, 102
Buckminsterfullerene, 102
Buckyball, 102
Burrows, Malcolm, 88–89

C

Carbon cycle, 83
Carnivorous plants, 94–98
Carnivory, 96–97
Cellular DNA, 45–47
Cervical dilation, 117–119
Chance and necessity, 145
Chaperones and chaperonins, 70–74, 138
Chick embryo, 137–138
Chicken or egg, 107–108, 137
Claudin-2 protein, 120
Claverie, T., 92
Cnidarians, 130
Comammox bacteria, 87
Cooption model, 80
Copernicus, Nicolaus, 146
Corpus luteum, 115–116
Costandi, Mo, 130
Crick, Francis, 62
Cry4, 100–102
Cryptochromes, 100–102

Cytosine degradation, 54–56

D

Damerow, Gail, 106
Darlingtonia, 97
Darwin, Charles, 50, 68, 95, 119, 120, 125
Darwin Devolves, 141
Darwin's Black Box, 80
Deoxyribose for DNA, 51–52
Descent of Man, The, 120
Diarrhea, 119–121, 138
Dietl, Andreas, 86
DNA, 138
  cellular, 45–47
  efficiency of, 61–62
  four bases, 51–52
  to RNA, 69

E

E. coli, 77
Egg
  breathing, 103–105
  tooth, 105–107
Einstein, Albert, 101
Ellison, Aaron, 95, 97
Ellis, R. J., 76
Enzymes
  conjugated, 68
  DNA, 48
  need for, 67–70
Epigenetic inheritance, 139
Ertl, Gerhard, 6
Estrogen, 116

Evolutionary developmental biology (evo-devo), 139
Eyes, human, 123–124

F

Feringa, Bernard L., 59
Fine tuning, 26–28
Flagellar filament caps, 77–83
Flagellum, 80
Flew, Antony, 62
Follicle-stimulating hormone (FSH), 115
Foresight and intelligence, 142
Foresight-or-Death Principle, 141–142
Fuller, Buckminster, 102
Fullerene, 102

G

Galileo Galilei, 146
Gastrointestinal (GI) tract, 120–121
Gauger, Ann, 7
Gears in insects, 87–91, 138
Genetic redundancy, 56–59
Glycoproteins, 111
Gotelli, Nicholas, 95, 97
GroES and GroEL, 74
Gurdon, John B., 5

H

Hammarström, Per, 74
Hartl, F. Ulrich, 75
Heat shock protein (HSP), 73
Hedrich, Rainer, 95
Heterotrophs, 84
Higginson, Thomas Wentworth, 107

Homochirality, 53–54, 66–67
Homoplasy, 95
Homoviscous adaptation, 16
Hoyle, Fred, 27, 103
HSP70, 72, 75
Human chorionic gonadotropin hormone (hCG), 116
Human placental lactogen (hPL), 116
Hydrazine, 85, 138

I

Insectivorous Plants, 95
Intelligent design, 143
Interleukin-22 protein, 120
International Carnivorous Plant Society, 97
International Mass Spectrometry Foundation, 13
Issus, 88–91
Izumo protein, 113–114

J

Jetten, Mike, 84–87
Josephson, Brian David, 5
Juno protein, 113–114

K

Kaiser, David, 101
Kepler, Johannes, 146
Kisalius, David, 93

L

lac operon, 63–65
Ladderanes, 86
Leong, Jennifer, 124
Lewis and Clark expedition, 131

Lightning, 39–45
Lindahl, Tomas, 58
Luteinizing hormone (LH), 115
Lynch, Michael, 140

M

Magnetoreception, 99
Maki-Yonekura, Saori, 79
Mansy, Sheref, 15, 20
Mantis shrimp, 91–95, 138
Martins, Daniela de Luna, 7
McGann, John, 125–126
McLauchlan, Keith Alan, 102
Megapode bird, 106
Mendoza, Diego de, 16
Meyer, Stephen, 140
Microbe paradox, 83–84
Miller, Kenneth, 80–81
Modrich, Paul, 58
Moran, Laurence, 72, 73, 75–77
Morse code, 62
Morse, Samuel F. B., 62
Mota, Kelson, 7
Moth, sense of smell, 126
Mount Improbable, 23
Mulkidjanian, A. Y., 21
Multiverse, 42–44, 144–145

N

Namba, Keiichi, 79
Nanomachine, 59
Natural genetic engineering, 139
Neher, Erwin, 95

Neo-Darwinism, 139
Nepenthes, 97
Neto, Brenno A. D., 6
Neutral evolution (non-adaptive evolution), 139–141
Newton, Isaac, 146
Niftrik, Laura van, 84–87
Nitrogen cycle, 83–84, 86
Nociceptors, 130–131
Nymphalid planthopper, 88

O

Odontodactylus scyllarus, 91
Onken, Michael, 54
Operon, 63–65
Oxygen, 131–135
Oxygen shield for cells, 14–18
Oxytocin, 117
Ozone, 35–39

P

Pain, 128–131
Patek, Sheila, 92
Pauli Exclusion Principle, 30
Pentacycloanammoxic acid, 86
Phosphate anion, 47–49
Phospholipids, 17–21
Podolsky, Boris, 101
Pregnancy hormones, 114–117
Progesterone, 116
Prolactin, 117
Prostaglandins, 118
Punctuated equilibrium, 139

Q

Quantum mechanics, 101, 138
Quinlan, R. A., 76

R

Racemic mixture, 53, 65–66
Raschig process, 86
Relaxin, 116
Reproduction, human, 109–119, 138
Ribose, 49–50
Ribose for RNA, 51–52
Ribosome, 59–61
Ritz, Thorsten, 102
RNA World, 55
Rosen, Nathan, 101

S

Sagan, Carl, 144
Sancar, Aziz, 58
Sand, George, 33
Sauvage, Jean-Pierre, 59
Schulten, Klaus, 102
SCN9A gene, 130
Self-organization (evolutionary), 139
Shapiro, James, 65
Smell and taste, 124–126
Stengl, Monika, 127–128
Stoddart, J. Fraser, 59
Sutton, Gregory, 88–89
Swift (bird), 99

T

Thomson, J. J., 146

Trigger Factor, 72

V

Venus flytrap, 95–96

W

Water, 28–33
  floating ice, 32–34
  super-solvent, 30–31
Wemmie, John, 134
Woodland, Norman Joseph, 62

Y

Yonekura, Koji, 79
Yong, Ed, 92–114

Z

Zack, T. I., 92
Zona pellucida, 111